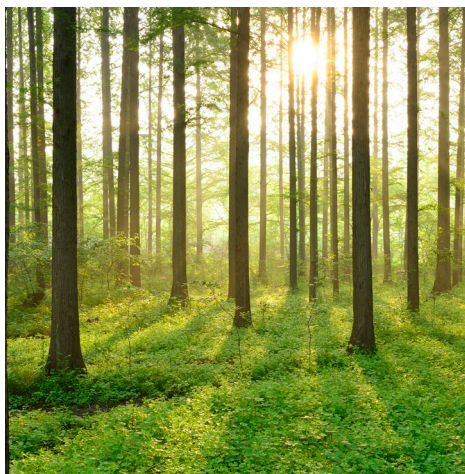


MIKROBIELL TILLVÄXT I RÖKGASKONDENSATRENINGAR

RAPPORT 2018:489



BRÄNSLEBASERAD EL-
OCH VÄRMEPRODUKTION



Mikrobiell tillväxt i rökgaskondensatreningar

LINDA WIIG, KENNETH LUNDKVIST, BARBARA GOLDSCHMIDT, HANNA ÖSTFELDT

ISBN 978-91-7673-489-6 | © Energiforsk maj 2018

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Denna rapport är slutrapportering av projekt A43440 Mikrobiell tillväxt i membranbaserade rökgaskondensatreningar för kraftvärmeanläggningar (Energimyndighetens projektnummer 43440-1) inom SEBRA, samverkansprogrammet för bränslebaserad el- och värmeproduktion.

Programmets övergripande mål är att bidra till långsiktig utveckling av effektiva miljövänliga energisystemlösningar. Syftet är att medverka till framtagning av flexibla bränslebaserade anläggningar som kan anpassas till framtida behov och krav. Programmet är indelat i fyra teknikområden: anläggnings- och förbränningsteknik, processtyrning, material- och kemiteknik samt systemteknik. Programmet är en samverkan mellan Energiforsk och Energimyndigheten. Ingående projekt finansieras av Energimyndigheten och av de parter som Energiforsk samlar i programmet.

Detta projekt har haft som syfte att finna rotorsaken till biologisk tillväxt i rökgaskondensatreningssystem vid kraftvärmeanläggningar och föreslå metoder så att tillväxten inte blir ett problem.

Utförare av projektet har varit Sweco Energuide med Kenneth Lundkvist som huvudprojektledare.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av:

Jinying Yan, Vattenfall
Per Örvind, Eskilstuna Strängnäs Energi och Miljö
Jan Lundgren, Stockholm Exergi
Erik Dahlén, Stockholm Exergi
Dinko Lukes, Swerea KIMAB

Stockholm april 2018

Helena Sellerholm
Områdesansvarig
Kraft och Värme, Energiforsk AB

Sammanfattning

För att rena rökgaskondensat på kraftvärmeverk används idag främst membranfiltrering, ultrafilter (UF) och omvänd osmos (RO). I och med att det blivit vanligt att återvinna rökgaskondensat, eller i alla fall att planera för framtida återvinning, har också membrantechniken blivit allt vanligare för kondensatrening, precis som tidigare vid avsaltning. Oftast används UF som förbehandling vilket skiljer av både partiklar och makromolekyler från vattnet. Före UF avlägsnas de grövsta partiklarna med ett mikrofilter i form av till exempel skaksil eller påsfilter. Vid både UF och RO renas vatten genom filtrering i membran.

I kondensatreningssystem med membrantechnik är biologisk tillväxt (som sätter igen membranen) ett problem för kraftvärmeanläggningar. Vid problem med mikrobiell tillväxt är den vanligaste metoden för bekämpning att tillsätta någon form av biocid till sitt processvatten, t.ex. genom att tvätta sina membran med tillsatt hypoklorit.

Rökgaskondensatet innebär en idealisk miljö i sig. Det är ett vatten med en gynnsam temperatur på 25 – 40 °C som passerar olika filtersteg som erbjuder skyddade ytor att växa på, t ex påsfilter före RO uppvisar förhöjda bakteriehalter trots att vattnet just har passerat UF som ska avskilja bakterier.

I denna rapport har följande analyser genomförts för att försöka särskilja vad som egentligen ger upphov till problem; Odlingsbara mikroorganismer 22°C, Långsamväxande, Aktinomyceter, Mögelsvamp, Jästsvamp, Mikrosvamp, Microtox och DNA-analys.

Gemensamt för de studerade anläggningarna som har problem med mikrobiell tillväxt och igensättning är att de försöker motverka och begränsa problematiken med klorering och UV-behandling. Denna utrustning är sällan inkluderad vid uppförande av en ny rökgaskondensatrening utan tillkommer istället när en anläggning börjar få problem.

En regelbunden uppföljning av bakteriehalterna med dipslides samt möjlighet att dosera en biocid (t ex natriumhypoklorit) till lagom nivå, säkerställd genom klormätning, samt UV som basutrustning bör vara grundnivån för en rökgaskondensatrening med membrantechnik redan vid uppförandet av anläggningen.

Resultaten visar att mikrobiell tillväxt finns hos samtliga anläggningar, även de som inte upplever problem. Svårigheterna att särskilja anläggningar med problem från de utan upplevda problem i detta projekt, är en direkt orsak av att samtliga anläggningar har tillväxt i sina kondensatvattenreningar. Förutsättningarna för problemen finns därför på alla anläggningar men de med marginal på kondensatvattenreningens kapacitet upplever mindre eller inga problem.

Luftuppfuktning kan förvärra problemen beroende på var förbränningsluften tas och ger ett högre tillskott på mikrobiell tillväxt, och/eller näring, till kondensatvattenreningen. Även i fallet med Luftuppfuktning är upplevda problem kopplat till kapaciteten.

Resultaten för projektet leder till slutsatsen och rekommendationen att redan vid uppförandet av rökgaskondenseringen säkerställa tillräcklig marginal för kondensatvattenreningen och om möjligt även marginal för framtida effekthöjningar på kondensorn. Ökad kondensatmängd gör snabbt kondensatreningen för liten och marginalen för att klara biofouling (mikrobiell tillväxt) och annan försmutsning utan kapacitetsbegränsningar försvinner.

För fortsatt forskning bör man titta mer på förfiltreringen i form av skaxsil och påsfilter som används på anläggningarna. Tecken tyder på att de kan stjälpa mer än hjälpa och man bör vara vaksam på deras utformning och funktion eftersom de kan vara platser i anläggningen där bakterier hinner växa till.

Executive Summary

Flue gas condensation, with associated condensate water cleaning systems, is a proven way of increasing power output from CHP-plants, improving the economy of the plant and limiting environmental impact by reducing the amount of fuel supplied.

The energy extracted from flue gas comes from its content of water vapor. The water comes from the combustion of hydrogen in the fuel, from moisture, and sometimes from water added to the fuel or the combustion air. The flue gas is cooled in the flue gas condensation plant which means that the water vapor condensates into fluid form (called flue gas condensate) while releasing heat. The flue gas condensate can either be released to recipient after cleaning or if the purity is sufficient, be returned to the feed water system.

There are two techniques for cleaning flue gas condensate; precipitation/ flocking and membrane filtration.

In condensate cleaning systems based on membrane technology micro biological growth (clogging up the membranes and decreasing capacity) is a problem at many CHP-plants. The degree of problems varies between different plants. Some plants have more problems while others do not experience problems at all. Generally, the problems are kept at bay by adding sodium hypochlorite, manual cleaning of filters and washing of membranes and installing UV-lamps

By clarifying the actual cause for the problems with biological growth in flue gas condensation units and defining what conditions that affects the growth, means that suppliers can use the information in their construction of flue gas condensation units and hopefully eliminating or control the upcoming problems.

By including several different CHP plants with different conditions and plant configurations for the equipment in this project, it has been possible to cooperate on solving these issues with many various aspects included, as well as experiences and theories of solutions to the occurring problems. The overall purpose of the project has been to find the root cause of the occurrence of biological growth in the condensate water cleaning systems, and explaining why some have problems and others don't. It's well known that the problems (and the solutions) have differed between plants but knowledge about why have been missing, since it's never been done any systematic comprehensive data collection and analysis of this scale earlier.

The project wishes to provide the necessary knowledge to improve the conditions to reuse flue gas condensate with the overall purpose of closing the water loop within the plants. This includes to identify all the methods and theories that different plants work with to minimize the problems. The project had a goal to identify at least two different connections between the plant configuration and the occurrence of biological growth and provide at least one alternative proposal for how to handle the problem. One important part was also to determine the composition of the biological growth and determine if the compositions differ between different plants.

The overall purpose of the flue gas condensation system is to extract more energy from the flue gas. The energy is extracted by cooling and condensing the hot and moist flue gas with district heating water either internally in the condenser or in an external heat exchanger. The temperature in the flue gas condenser lies in the range of the flue gas saturation temperature 60–75°C to a few degrees above the district heating return temperature 40–60°C. The possible output from the flue gas condenser increases with an increasing moist content of the flue gas. This is utilized in the flue gas condensation with incubators that adds moisture to the incoming combustion air.

Since it's now common to re-use the flue gas condensate, or at least planning for re-using, the membrane technology has become normal for condensate cleaning exactly as for process for desalination of water.

In water treatment plants using municipal water for raw water, RO is usually followed by EDI and/or mixed bed ion exchangers. Prior to the RO, to keep the water lime free before entering the RO, equipment for separation of lime is installed along with a cartridge filter to protect the RO. After the RO, the water is free from salinity and can be used to feeding the district heating net. If the water shall be used as feeding water for boilers (which needs an even higher degree of purity) an EDI and/or a mixed bed ion exchanger is added to polish the water from the last remnants of salinity.

If the raw water is flue gas condensate, for production of desalinated water, an UF is often used for pre-treatment. UF separates both particles and macro molecules from the water. Prior to the UF the largest particles are separated by a (MF) micro filter in the shape of a shaking sieve or bag filter. Both the UF and RO purifies the water by filtration into fine membranes. Algae, bacteria and 0,01 - 0,1 µm large macro molecules are separated in the UF. In the RO even smaller particles are separated, such as salt. The membranes surface properties change over time as they age. Intense cleaning of the membranes reduces their life span.

Most membrane-based flue gas condensation units in Sweden have been delivered by Mercatus or Radscan. The variation of membrane types in Swedish plants are therefore limited. For RO spiral wired membranes of polyamide (PA) are used. The UF consists of hollow fiber membranes made of cellulose triacetate (CTA). Microorganisms consist of a large and diversified group of singular cells- to multiple cellular clusters, from viruses to certain species of fungus, amongst which bacteria is the largest group, so called prokaryotic cells. Since the prokaryotic cells are small and simple they can multiply under good living conditions by dividing every 20 minutes. This allows bacteria colonies to quickly create problems with capacity and be difficult to fight.

All cells need energy for survival, growth and reproduction. Energy can be obtained in three ways: - from organic substances, inorganic substances or from light. All cells also need carbon to grow. Many microorganisms, especially bacteria, can form "biofilm". This means that bacteria attach to a surface and creates a form of protective "mucus". The biofilm ensures protection for the bacterial colony where it can cooperate metabolically. The reason for bacteria to adhere to a certain

surface may be that the site itself is beneficial and protected or that the surface itself can be utilized as food.

When a plant has problems with microorganic growth the most common method for solving the problem is to add a biocide to the process water, for example washing the membranes with hypochlorite solution. Another approach would be to fight the root cause of the existence of bacteria. However, it's difficult to change the fact that flue gas condensate and the process provides an ideal environment for bacteria. It's a water with a pleasant temperature of 25 – 40°C which passes different filtration steps which offers protected surfaces to grow on. For example, bag filters prior to the RO shows elevated levels of bacteria even though the water have passed through the UF designed to separate bacteria. Probably the bacteria enter through the RO feed tank, especially if it's a combined tank for back flushing of the UF. The tank isn't closed to the outside atmosphere and bacteria can therefore enter the tank via the air and grow on the bag filter. The risk is especially great when two redundant bag filters are used, one of which is stand-by filled with water. In some plants the filter can be left this way for a couple of months while waiting for shifting of the filters. When taken into operation the filter can already be covered in biofilm from the bacteria that has been growing in the ideal environment of the stand still water.

There are many methods for analysis when investigating the microbiological world. In this project the following analytic methods have been used:

- *Cultivating microorganisms 22 ° C* - detects all organisms that can be grown at this temperature and shows "total number of bacteria".
- *Slow growing* - Microorganisms grown for 7 days. Shows that there are organisms living on organic matter decomposition.
- *Actinomycetes* - one of the most common bacteria on earth and participates in the decomposition of organic substances.
- *Mold* - Collective name for microscopic fungi. Mold enjoys humid environments.
- *Yeast fungus* - fungus, which in contrast to mold, lives mainly in a single cell form. Requires a humid environment.
- *Micro sponge* - the sum of yeast and molds.
- *Microtox* - toxicity test with the bacteria *Vibrio fischeri*, e.g. toxicity in the water may be the reason why a plant experiences less problems with microbiological growth than other plants.
- *DNA analysis* - Using pieces of DNA this test analyzes which organisms are present in a sample. The result states which species appear in a test but not the amounts of bacteria.

Several plants also use "dipslides", which are small plates with a nutritional solution that can be dipped into a water sample that then stays in an incubator (small heater) for a certain time and temperature. After, the number of colonies can be calculated. The advantage of these quick tests is that they are easy to perform and can help the operating staff in decisions such as cleaning of membranes or

other preventive measures such as increasing the hypochlorite dosage or checking that the UV unit is doing its job.

The studied plants that experience problems with microbial growth and clogging have in common that they have tried to counteract and limit the problems of chlorination and UV treatment.

These methods exist on the market and have been tested by the CHP-plants themselves (e.g. cooling water ducts, refrigerators and remote cooling systems) and other industries (e.g. drinking water and bath houses). However, this equipment is rarely installed directly when building the plant, and instead installed when problems occurs. The time, efforts, and resources that are then spent on problem solving could be eliminated in the design phase if a certain amount of biofouling is calculated to occur, just as a certain amount of fouling can be calculated/expected for heat exchanging surfaces within a boiler.

The need for disinfection occurs in many areas where lukewarm water meets microorganisms in one way or another.

This report goes through several disinfection methods available on the market; hypochlorite, chlorine dioxide, bromine and hypobromite, ozone, hydrogen peroxide and UV. The technology as well as working environment and costs are reviewed.

Table 1. Cost calculations for different disinfection techniques.

	Investment (kkr)	Chemicals (kkr/year)	Other (kkr/year)
Hypo chlorite (aq.sol)	75	2	
Chlorine dioxide (from chlorite)	225	3	
Chlorine dioxide (aq.sol)	75	500	
Ozone (air separation)	400		5
Ozone (from O ₂)	300	1	5
UV	50		2

Chlorination has been tested, or routinely performed at some plants. Several plants also use UV light to supplement chlorination.

Table 2. Dosing and installation of chlorination and UV at the reference plants.

Plant	Disinfection with chlorine	Condensate cleaning in operation	Chlorine dosing Installed	UV installed
Värtaverket/KVV8	5 ppm hypochlorite Added prior air moisturizing unit	2016	2016/2017	2016/2017
Söderenergi	1 ppm hypochlorite Added prior air moisturizing unit	2009	2009, from the start, but started using during 2012 when the need was identified.	To be installed 2018.
Strängnäs	1 ppm hypochlorite Added prior condensate cleaning	2008	Manually dosing	Under investigation
Eskilstuna	2 ppm hypochlorite Added prior UF in condensate cleaning	2016	2016, installed from start, but started 2 months later when the need was identified.	No
Brista 1	3 ppm hypochlorite Added before rotor	2014	Manually dosing 2015. Dosing equipment 2017.	2016
Brista 2	No chlorine dosing	2013	No	No
Högdalen	Tests with UF-back flushing including hypochlorite have been made	2013	2014	Under investigation 2018.
Göteborg	2 - 3 ppm hypochlorite Added prior UF in condensate cleaning	2005	Manually dosing 2006.	2006. 2007 with added capacity.
Örebro	No chlorine dosing	2003	No	No

All plants adding hypochlorite in their process uses doses between 1 and 5 ppm. All dosing is proportional to the water flow and then measure chlorine manually for control. KVV8 is the only plant present that has a continuous measurement of free chlorine.

An important part of this project has been to gather experiences from the plants that have had microbial growth for a while. The plants are often in different operational phases, some have had problems for many years and others have recently installed membrane technology.

The method used for this consists of four parts; questionnaires, work-shops, interviews and sampling. The purpose has been to contact as many plants as possible to clarify if they have had problems with microbial growth and how- and where the problems occurred. After the initial questionnaire, the plants have been

invited to deeper discussions at work-shops to discuss the problems (or absence of problems), from several different perspectives.

In many cases the chemists often take responsibility for the water treatment themselves. What is perceived as a problem or not in a plant is in many cases a subjective assessment linked to the issue of personnel resource.

The chemistry department often consists of one person, sometimes two, with a major responsibility for monitoring and decision making for all process water issues for the entire CHP. Water and its purity is a fundamental resource and issue within a CHP. It's used for refrigeration and heat transport, feeding water, steam cycle and district heating water. This in combination with ever tougher environmental demands on waste water from the plants, this makes the water cleaning systems a very important part of a CHP-plant. The condensate cleaning system that gets problems with bacterial growth takes up a lot of effort and work hours for an already limited personnel staff. Once the bacteria get attached, they are very difficult to get rid of.

It also appears that plants with though environmental requirements, frequent emissions reporting, and shortness in staff experience a major problem with bacterial growth and clogging. The margins are very narrow.

Fifteen plants had the opportunity to answer the questionnaire, these were:

Table 3. Plants that answered the questionnaire.

Nr	Plant owner	Plant	Boiler
1	Stockholm Exergi	Bristaverket	Brista 1
2	Stockholm Exergi	Bristaverket	Brista 2
3	Stockholm Exergi	Högdalenverket	P1, P2, P3, P4, P6
4	Stockholm Exergi	Värtaverket	KVV6
5	Stockholm Exergi	Värtaverket	KVV8
6	Göteborg Energi AB	Sävenäverket	SÄV HP3
7	Kraftringen	Örtoftaverket	
8	Öresundskraft AB	Filbornaverket	KVV1
9	Mälarenergi AB	Kraftvärmeverket Västerås	Block 6
10	Söderenergi	Igelsta Kraftvärmeverk	IKV
11	E.ON	Åbyverket, Örebro	Panna 5 (CFB)
12	E.ON	Händelöverket	P11 rosterpanna, P13 CFB
13	ESEM	Strängnäs KVV	
14	ESEM	Eskilstuna KVV	
15	Karlstads Energi AB	Hedenverket	Heden 3

Two work-shops were held with chemical- and operating personnel from the different plants; one in May 2017 and one in September 2017. All 15 plants were invited as well as other people from different areas of expertise, whom provided extensive knowledge.

The project has conducted interviews with the plants where the sampling took place. To select which plants would be included in the test program, the project tried to find both common denominators and differences between the plants.

Table 4. Plants that participated in both interviews and the test program.

Nr	Plant	Boiler	Fuel	Experienced problems with Biological growth	MF (type)	Comb.air moisturizer	Flue gas cleaning Prior FGC
1	Bristaverket	Brista 1	Bio	Problems	Shaking sieve	Yes	ESP
2	Bristaverket	Brista 2	Waste	-	Bag filter	No	Lime
3	Högdalen	P1, P2, P3, P4, P6	Waste	Problems	Shaking sieve	No	Lime
4	Värtaverket	KVV8	Bio	Problems	Shaking sieve	Yes	Bag filter
5	Sävenäverket	SÄV HP3	Bio	Problems	Shaking sieve	Yes	ESP
6	Igelsta KVV		Bio	Problems	Shaking sieve	Yes	Lime
7	Åbyverket, Örebro	Panna 5 (CFB)	Bio	-	Shaking sieve	No	ESP
8	Strängnäs KVV		Bio	Problems	Shaking sieve	No	Lime

The following parameters were analyzed:

- TOC (total organic carbon)
- Ammonium
- Nitrate Nitrogen
- Nitrite Nitrogen
- Total phosphorus
- Suspended substances
- Microtox
- DNA-analysis
- Extended microbiological investigation

TOC for establishing the carbon source, Nitrogen and phosphorous as nutrients. Suspended solids give information about the water quality, microtox for the water toxicity, DNA determination and an expanded microbiological investigation that gave answers to the number and types of colonies of bacteria and fungi.

In planning the sampling, quotes were submitted from three different analytical labs. The choice fell on one lab that could offer all the requested types of analyzes at a low cost. Three test runs were conducted with five sampling points at each plant. In total, 528 sample bottles were sent to seven separate locations. The

sampling points were selected to get information on “what” enters each filter step. The plant configurations differ a bit between the plants, but each sampling point is located before each filter stage;

- Prior MF
- Prior UF
- Prior bag filter, RO
- Prior RO

Also, samples were taken from:

- Circulation Circuit UF

Since that is where the plants detect the highest amounts of microorganisms, see Figure 1.

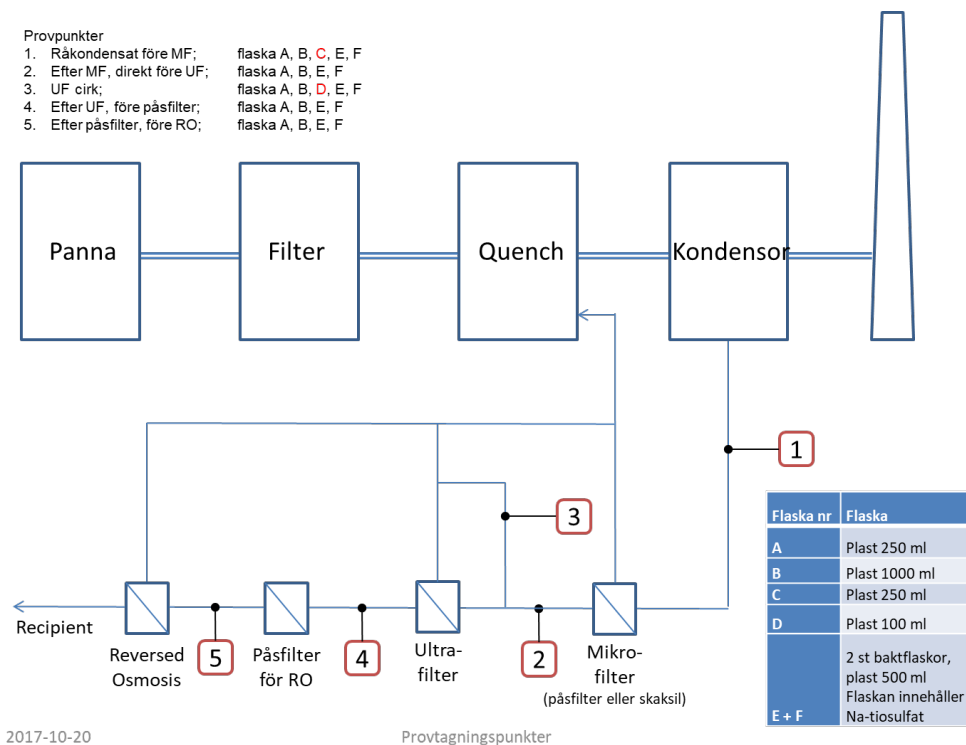


Figure 1. Process image including the sampling points and number of bottles.

- **TOC:** TOC was below 2 mg/l in most samples from all plants. The conclusion is that any carbon present in the raw condensate is in the form of CO₂, and this indicates complete combustion in the combustion process and there is very little or no organic material in the condensate. By contrast, the TOC rises at a few plants at the end of the system, after bag filter before RO. Strängnäs has higher TOC levels throughout the entire condensate system. The reason is probably because they take in an industrial water (surface water that has gone through sand infiltration) early in the process. The conclusion is (if possible) not to accept other water qualities other than flue gas

condensate into the cleaning process, to keep control over the water quality from the cleaning.

- **Suspended substances:** only Brista 2 uses bag filters as microfilter. All the other plants use a shaking sieve. Suspended material was higher after MF for some of the plants. Brista 1, Högdalen and Sävenäsverket have a higher level of suspended material after their respective MF than before. For the bag filter (as MF) before RO, the suspended material increases for Brista 2, KVV8, Strängnäs and Sävenäsverket. This is strange as the levels should decrease after each filter. This pattern has also been seen on Brista 1, where millipor filtering is done before and after the shaking sieve. There is no difference between the amount of suspended material on either side of the MF. The largest amount of suspended material in the raw condensate comes from for the biomass fired plants. The plants that have higher amounts of suspended material in the raw condensate also have more problems with biological growth than those with low amounts in the raw condensate.
- **Nitrogen:** total nitrogen is the sum of ammonium-, nitrite- and nitrate nitrogen. The analyzes show that the levels of nitrite and nitrate are marginal and that ammonium nitrogen accounts for most of the total nitrogen. Therefore, to simplify sampling of condensate water, analyzing only ammonium nitrogen gives a good picture of the total amount of nitrogen in the water. At Strängnäs the total nitrogen increases through the plant. At Högdalen the total nitrogen decreases through the plant. For the remaining plants, the total nitrogen is constant throughout the plant. No interpretation can be made that there is some form of reduction of ammonium nitrogen through the plant due to increased bacterial content. The number of microorganisms varies in the plants and there is no parallel or any correlation that the number of microorganisms would affect the nitrogen and vice versa. There are no clear results, and this may be due to the fact that some of the plants are chlorinating their systems, and therefore it might not be possible to see the real level of microorganisms, because of termination due to the chlorine.
- **Phosphorus:** The results show that the phosphorus content is marginal in flue gas condensate compared to ammonium and is no parameter that affects or contributes to microbial growth in the plants.
- **Microtox:** is a measurement of how toxic the water is for living organisms. The lower the measured number the more poisonous is the water. Raw condensates from waste fired boilers do not exhibit any higher toxicity than the biomass fired boilers. A surprise was that Åbyverket's raw condensate proved to be the most toxic. This could be a result connecting to their fuel mix; 10% peat and 90% wood chips, of which 5-8% is creosote impregnated chips. Åbyverket is experiencing

no problem with microbial growth, and the question is whether this fuel mix is what causes the flue gas condensate being more poisonous and thus decrease microbiological growth.

- **Microorganisms:** cultured microorganisms 22°C and slow growing bacteria are the most represented in the analyzes. The slowly growing bacteria usually contemplates. The plants that don't experience problems with microorganisms also have bacteria in their systems. Brista 1 has a relatively high level of mold fungus after MF and in UF circulation. Significantly higher than the other plants. The level of actinomycetes is almost non-existent in all the plants. The content of microorganisms in the raw condensate on Brista 2 exhibits relatively high amounts. This is a bit surprising because Brista 2 states that they have no problems with biological growth. The level of microorganisms is on some plants higher after bag filters before RO than in the sampling point earlier in the process flow. This applies to Brista 1, Igelsta, KVV8, Strängnäs and Åbyverket. DNA analyzes show that there are many different types, genera or species of microorganisms. The report shows the diversity of microorganisms in the samples and the three largest groups in each sample. The microorganisms that are represented in the largest amount in all sampling points and occur in most sampling points are all bacteria. No other types of microorganisms, such as arkes, protozoans, fungi, algae or animals are represented here.

The root cause for biological growth in condensate water treatments is that the environment is good for growing. It benefits from access to water, energy, carbon and nutrients. All of which are included in a flue gas condensate cleaning. In addition, there are microorganisms that can live and reproduce in the most extreme environments imaginable. Therefore, the occurrence of some form of biological growth in our water cleaning systems must therefore be considered as naturally occurring.

The problems arise if a plant lacks margin for water through put capacity. The biological growth limits the through put and without margin the decrease in capacity will cause problems. Many types of industries and facilities have accepted and learned to handle biological growth, for examples bath houses, refrigerators and potable water production. Flue gas condensation plants needs to take this issue into account already at the design stage. And as a minimum requirement by adding some form of measuring and sampling system (read: disinfection and follow-up) to see that the equipment works as intended.

With good sampling, a plant can use the simple but effective dipslides. These can be analyzed at the plant with no costly external analyzes required. The studied plants that have problems with microbial growth and clogging have in common that they have tried to counteract and limit the problems with chlorination and UV treatment. These methods are on the market and have been tested successfully in other applications both by CHP plants and by others. However, this equipment is

rarely included in the scope when purchased, but rather being added later when the plant is starting to experience capacity problems.

Regular monitoring of bacterial levels with dipslides and the possibility of dosing a biocide (eg sodium hypochlorite) to a reasonable level, ensured by chlorine measurement, and UV should be standard equipment for a flue gas condensation treatment with membrane technology.

When constructing a flue gas condensate cleaning system, there should also be some capacity margins as micro biological growth can be expected due to the good living environment the condensate and the process seem to provide. It should be considered when designing the condensate cleaning system if future power increases on the condenser can be expected. The increased amount of condensate quickly makes a condensation cleaning too small and any built-in margin for biofouling (microbial growth) and other contamination disappear. Increased capacity of course comes with a higher cost but should be compared to the alternative of added equipment, reduced life span of the membranes and extra personnel.

Innehåll

1	Inledning	21
1.1	Bakgrund	21
1.2	Beskrivning av forskningsområdet	23
1.3	Forskningsuppgiften och dess roll inom forskningsområdet	23
1.4	Mål och målgrupp	24
1.5	Förkortningar	24
2	Teknikalternativ – teknisk bakgrund	25
2.1	Rökgasrening, rökgaskondensering, rökgaskondensatrening	25
2.2	Rökgasrening	25
2.2.1	Rökgaskondensering	26
2.2.2	Rökgaskondensering med separat quench/surskrubbersteg	28
2.2.3	Kondensatrening	28
2.3	Membran i vattenreningar	29
2.3.1	Avsaltning av dricksvatten	29
2.3.2	Avsaltning av rökgaskondensat	29
2.3.3	Avsaltning av havsvatten	30
2.3.4	Avsaltning av ytvatten	30
2.3.5	Avsaltning av bräckt vatten	30
2.4	Membrantechnik, UF, RO	31
2.4.1	Membranmaterial	32
2.4.2	Membranleverantörer	34
3	Mikrobiologi och analysmetoder	35
3.1	Introduktion mikrobiologi	35
3.1.1	Olika typer av celler	35
3.1.2	Energi och kol	35
3.1.3	Biofilm	36
3.1.4	Parametrar som påverkar mikroorganismer	36
3.1.5	Bekämpning av mikroorganismer	37
3.2	Analysmetoder	37
3.2.1	Analyser hos laboratorium	38
3.2.2	Avancerade analysmetoder	39
3.2.3	Tester på anläggningar	39
4	Tvättmetoder – bakteriebekämpning	40
4.1	Desinfektionsmetoder hos anläggningsägarna	40
4.1.1	Klorering	40
4.1.2	UV	40
4.2	Desinfektion inom andra tillämpningar och branscher	40
4.2.1	Kyltorn	41
4.2.2	Bassängvatten	41

4.3	Desinfektionsmetoder på marknaden	41
4.3.1	Hypoklorit	41
4.3.2	Klordioxid	42
4.3.3	Brom och hypobromit	42
4.3.4	Ozon	42
4.3.5	Väteperoxid	43
4.3.6	UV	44
4.4	Arbetsmiljö	44
4.4.1	Hypoklorit	44
4.4.2	Klordioxid	44
4.4.3	Väteperoxid	45
4.4.4	Ozon	45
4.4.5	UV	45
4.5	Teknik och Kostnader	45
4.5.1	Hypoklorit	45
4.5.2	Klordioxid	45
4.5.3	Mätning av restklor	46
4.5.4	Brom och hypobromit	46
4.5.5	Ozon	46
4.5.6	UV	46
4.5.7	Sammanfattning kostnader	47
5	Metod och genomförande	48
5.1	Metodbeskrivning	48
5.2	Medverkande Anläggningar	48
5.2.1	Frågeformulär	48
5.2.2	Work-shop	49
5.2.3	Intervjuer	49
5.3	Provtagning	51
5.3.1	Analysparametrar	51
5.3.2	Analyslab	51
5.3.3	Provtagningspunkter	52
6	Resultat	53
6.1	Totalt organiskt kol, TOC	53
6.2	Suspenderat material (susp)	58
6.3	Kväve	63
6.4	Fosfor	71
6.5	Toxicitet	75
6.6	Mikroorganismer	79
6.7	DNA-analyser	89
6.7.1	Brista 1	89
6.7.2	Brista 2	89
6.7.3	Högdalenverket	90

6.7.4	Igelsta KVV	90
6.7.5	Värtaverket KVV8	91
6.7.6	Strängnäs KVV	91
6.7.7	Sävenäsverket	91
6.7.8	Åbyverket	92
6.7.9	Sammanställning DNA resultat	92
7	Diskussion	93
7.1	Slutsatser	96
7.2	Vidare forskning	98
8	Litteraturreferenser och kontakter	100
8.1	Litteraturreferenser	100
8.2	Kontakter	100
	Bilaga 1 Anläggningserfarenheter	102
	Sammanställning av alla anläggningar i projektet	103
1	Brista 1	106
1.1	Anläggningsinformation	106
1.2	Processbild	107
1.3	Anläggningsbeskrivning och påväxtproblematik	107
2	Brista 2	111
2.1	Anläggningsinformation	111
2.2	Processbild	111
2.3	Anläggningsbeskrivning och påväxtproblematik	112
3	Högdalenverket	114
3.1	Anläggningsinformation	114
3.2	Processbild	115
3.3	Anläggningsbeskrivning och påväxtproblematik	115
4	Igelsta KVV	119
4.1	Anläggningsinformation	119
4.2	Processbild	120
4.3	Anläggningsbeskrivning	120
5	Strängnäs KVV	122
5.1	Anläggningsinformation	122
5.2	Processbild	123
5.3	Anläggningsbeskrivning och påväxtproblematik	123
6	Sävenäsverket	125
6.1	Anläggningsinformation	125
6.2	Processbild	126
6.3	Anläggningsbeskrivning och påväxtproblematik	126
7	Värtaverket KVV8	128
7.1	Anläggningsinformation	128

7.2	Processbild	129
7.3	Anläggningsbeskrivning och påväxtproblematik	129
8	Åbyverket	132
8.1	Anläggningsinformation	132
8.2	Processbild	133
8.3	Anläggningsbeskrivning och påväxtproblematik	133

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Rökgaskondensering, med tillhörande kondensatreningssystem, är idag ett vedertaget sätt att öka effektuttaget från kraftvärmeanläggningar, förbättra ekonomin och minska miljöbelastningen genom att minska mängden tillfört bränsle.

Värmeenergi från rökgaser utvinns genom att vattenånga i rökgaserna kyls och kondenseras till vatten (kallat rökgaskondensat). Rökgaskondensatet kan antingen släppas ut till recipient eller, om renheten är tillräcklig, återföras till spädvattenreningen för processvatten. Processvattnet består då till viss del av renat rökgaskondensat och till viss del av renat stadsvatten. Att öka andelen rökgaskondensat i processen och på så sätt sluta anläggningens vattenkretslopp är önskvärt för att minska användningen av stadsvatten och utsläppet av förorenat vatten. Att kunna återföra rökgaskondensat till processen ställer höga krav på vattnets renhet och på vattenreningssystemens tekniska funktion. Dessa krav är betydligt hårdare än de gränsvärden som finns i anläggningarnas miljötillstånd.

Hårt ställda krav på vattenreningarnas utsläpp till recipient (i anläggningarnas miljötillstånd) och för användning i anläggningsprocessen medför att kondensatvattenreningen måste vara robust och fungera utan störningar samtidigt som vattenkvaliteten upprätthålls. Oavsett om kondensatet ska återföras till processen eller släppas ut till recipient måste det renas från bland annat salter, klorider och svavel. För att rena kondensatet på kraftvärmeverk används två tekniker; fällning/flockning och membranfiltrering. Membranfiltrering innebär dels att användning av kemikalier kan undvikas och dels att tekniken ger bättre förutsättningar för att kunna sluta vattenkretslopp inom anläggningarna i högre grad, och därmed minska utsläpp av vatten från anläggningarna. Användning av renat kondensat som processvatten minskar behovet av stadsvatten. På sikt kan stadsvatten, i fall kvalitén på återvunnet kondensat är tillräcklig, användas enbart i nödfall.

I kondensatreningssystem med membrantechnik är biologisk tillväxt (som sätter igen membranen) ett problem för många kraftvärmeanläggningar. Dels innebär det ett ekonomiskt problem i form av ökad bemanning (eller att andra viktiga arbetsuppgifter blir lidande) för hålla tillväxten under kontroll samt att tillgängligheten på anläggningen kan minska. Kan vattnet inte flöda fritt genom membranen sjunker kapaciteten på vattenreningen och kan innebära att rökgaskondenseringen tillfälligt måste stoppas. Anläggningen körs då utan rökgaskondensering vilket sänker den totala anläggningsverkningsgraden.

Problemen med biologisk tillväxt på membran varierar mellan olika anläggningar. Vissa anläggningar har problem i olika grader och vissa upplever inga problem alls. Orsakerna till detta fenomen har tidigare inte varit kända.

I och med att problemens svårighet varierar mellan anläggningarna ser även lösningarna olika ut beroende på anläggning. Genom exempelvis tillsats av natriumhypoklorit, manuell rengöring av filter och tvättning av membran i kombination med installation av UV-lampor kan problemen kontrolleras. En del nackdelar följer med dessa åtgärder, exempelvis så tar membranen skada av höga klorhalter och membranens livslängd sjunker. Det medför ökade drift- och underhållskostnader. Manuell tvätt av membran är dessutom ett arbetsmiljömässigt bekymmer.

Doseringen av natriumhypoklorit sker i många fall godtyckligt utan verklig kännedom om hur mycket som behövs tillsättas eller vilket kloröverskott som kan accepteras. Vid användning av klor bildas också oönskade klororganiska föreningar, främst trihalometaner men även andra toxiska och svårnedbrytbara föreningar, som kan tillföras miljön via kondensatet som släpps ut. Här finns således goda skäl att även utreda möjligheten av att använda andra biocider med bättre effekt och mer begränsade negativa miljökonsekvenser.

Problematiken med biologisk tillväxt av membran har varit känd under ett tiotal år utan att egentliga lösningar på problemet hittats. En del teorier pekar mot användningen av luftuppfuktare i rökgaskondenseringen som orsak. Det kan bekräftas från vissa håll, men problematiken finns även i kondensatreningar utan luftuppfuktning.

I många fall testas olika lösningar genom trial-and-error förfarande och flera anläggningar arbetar själva med att försöka utreda orsakerna till biologisk tillväxt i vattenreningssystemen. Men ofta saknas tid och resurser för att analyserna ska bli framgångsrika. Resurser, möjligheter och kunskaper kring hur provtagningskampanjer bör utformas är en förutsättning för att orsaken till att biologisk tillväxt uppkommer ska kunna fastställas. Det krävs kompletta och precisa data från flera anläggningar för att kunna dra några korrekta slutsatser. Provtagningar och undersökningar som genomförts vid olika anläggningar är tyvärr ofta bristfälligt dokumenterade, vilket försvårar en framtida bedömning och jämförelser med andra anläggningar.

Genom att klargöra grundproblematiken för uppkomsten av biologisk tillväxt i rökgaskondenseringar och vilka betingelser som påverkar tillväxten leder till att leverantörer bättre kan ta hänsyn till detta och förhoppningsvis leda till att problemen kan konstrueras bort. Att förklara orsaken till- och åtgärda problematiken med biologisk tillväxt är ett sätt att förbättra funktionen på vattenreningssystemen och kvaliteten på renat vatten samt att minska användningen av kemikalier.

Anläggningarna har upplevt att problemställningarna varit viktiga att lösa men att det saknats gemensamma strategier, nätverk och kunskapsutbyte mellan användare, leverantörer etc. för problematiken. Genom att inkludera flera olika anläggningar med olika förutsättningar och konfigurationer på utrustningen i detta projekt har det givits möjlighet för samarbete kring dessa frågeställningar. För att grundproblemet skulle kunna fastställas krävdes en bred datainsamling med erfarenheter från flera anläggningar, både sådana som haft stora problem och även från de som inte upplevt problem med sina vattenreningssystem.

Genom att försöka kartlägga och förklara betingelserna för uppkomsten av biologisk tillväxt i kondensatreningarna kan nu resultaten komma till nytta för samtliga kondensatreningar oavsett anläggning som har problem.

1.2 BESKRIVNING AV FORSKNINGSSOMRÅDET

Projektets övergripande syfte har varit att identifiera rotorsaken till uppkomsten av biologisk tillväxt i rökgaskondensatreningssystem vid svenska bio- och avfallseldade kraftvärmeanläggningar och därmed skapa förutsättningar för att konstruera bort, eller med andra metoder minska eller eliminera problemen.

Rökgaskondenseringen är en viktig komponent som både återvinner värme från rökgaserna och renar dessa och att biologisk tillväxt orsakat stopp för kondenseringen vilket minskar energiåtervinningen och därmed kraftvärmeverkets totala verkningsgrad.

Det har fram tills nu saknats en generell och verifierad metod för att hantera problemet med biologisk tillväxt i rökgaskondenseringen. Det är känt att flera kraftvärmeanläggningar har haft dessa problem, men problemen (och även lösningarna) har varierat mellan anläggningarna och kunskap om varför har saknats, då det inte har gjorts någon systematisk heltäckande datainsamling och analys tidigare.

Problemen har hanterats lokalt på respektive anläggning och efter bästa förmåga, ofta med knappa medel och metoder som i många fall löst symtomen på problematiken, och inte själva grundorsaken. De lokala kunskaper, erfarenheter och möjliga teorier bakom problematiken med mikrobiell tillväxt ville projektgruppen fånga upp i projektet och samtidigt medverka till att frågorna avhandlades i ett bredare forum mellan flera anläggningar och kompetenser. Projektet ville bidra till ett ökat nätverkande mellan berörda anläggningar och också få möjlighet att sprida information och resultat till alla anläggningar som använder membranteknik. En viktig del i detta projekt har därför varit att samverka med kemister och driftpersonal ute på anläggningarna.

1.3 FORSKNINGSUPPGIFTEN OCH DESS ROLL INOM FORSKNINGSSOMRÅDET

Projektet vill bidra med nödvändig kunskap för att förbättra förutsättningarna för att kunna återföra rökgaskondensat till processvattensystemen i syfte att sluta vattenkretslopp inom anläggningen. Detta minskar användningen av stadsvatten till spädvattenframställning samt att utsläpp av vatten till recipient minskar.

1.4 MÅL OCH MÅLGRUPP

Projektets övergripande syfte har varit att identifiera rotorsaken till uppkomsten av biologisk tillväxt i rök-gaskondensatreningsystem vid svenska bio- och avfallsseldade kraftvärmeanläggningar och därmed skapa förutsättningar för att konstruera bort, eller med andra metoder minska eller eliminera problemen.

Projektmål:

- Identifiera och kartlägga de metoder och teorier som man arbetar efter för att hantera problemet på de deltagande anläggningarna.
- Identifiera minst två samband mellan systemutformning och uppkomst av biologisk tillväxt från deltagande verk.
- Lämna minst ett förslag till hur kondensatreningsystem kan utformas bättre för att minimera uppkomsten av biologisk tillväxt.
- Lämna minst ett alternativt förslag till hur biologisk tillväxt kan hanteras.
- Fastställa sammansättningen på tillväxten och avgöra vad dessa består av samt om sammansättningen skiljer sig mellan anläggningar.

Den kunskap som framkommit under projektet hoppas vi kommer att vara till nytta för aktörer både på användarsidan och i leverantörs- och tillverkningskedjan av vattenreningsutrustning. Bättre kännedom om optimala parametrar avseende bildning av biologisk påväxt i systemen gör att problemet kan kontrolleras på ett mer medvetet och systematiskt plan jämfört med tidigare.

1.5 FÖRKORTNINGAR

UV	UV-ljus, ultraviolett ljus
BFB	panna med bubblande fluidiserad bädd
CFB	panna med cirkulerande fluidiserad bädd
MF	mikrofilter
RO	vattenreningsteknik baserad på omvänd osmos (reverse osmosis)
RT	returträ
UF	vattenreningsteknik baserad på ultrafiltrering

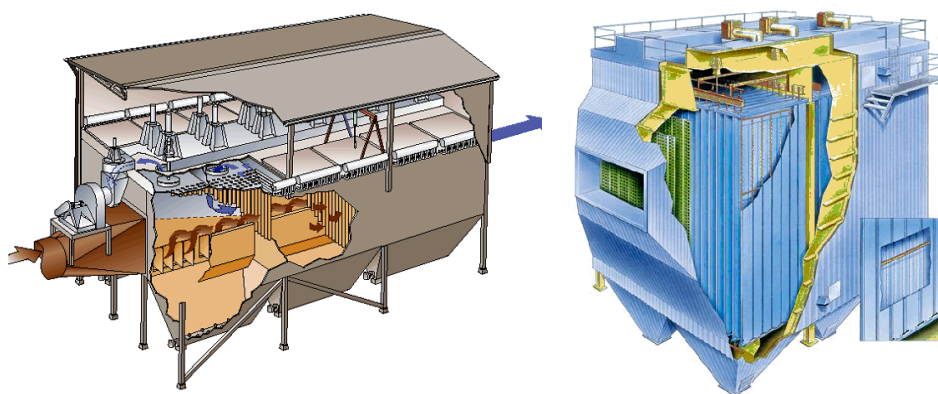
2 Teknikalternativ – teknisk bakgrund

2.1 RÖKGASRENING, RÖKGASKONDENSERING, RÖKGASKONDENSATRENING

Tekniker för rökgasrening, kondensering och kondensatrening finns beskrivna i ett antal tidigare rapporter utgivna av Värmeforsk och Energiforsk¹.

2.2 RÖKGASRENING

Större och medelstora bibränsleeldade anläggningar är normalt försedda med stoftfiler. Ofta används slangfilter, men också elfilter förekommer.



Figur 2. Slangfilter och elfilter (Alstom)

Figure 2. Fabric filter and electrostatic precipitator (Alstom)

Även avfallseldade anläggningar använder normalt slangfilter, men också elfilter kan förekomma. Slangfilter används om anläggningen har torr eller semitorr avsvavling med kalkdosering.

¹ 568 "Nyttiggörande av kondensat från rökgaskondensering"

643 "Avsaltning av varmt rökgaskondensat med membranteknik"

719 "Studie av rökgaskondensering för bibränsleeldade kraftvärmeanläggningar"

895 "Avancerad rening av rökgaskondensat"

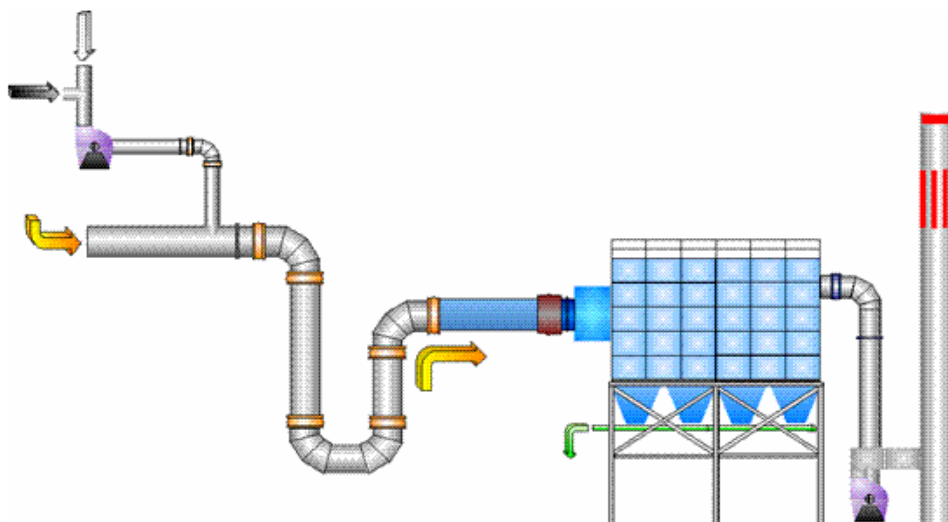
1016 "Legionella i luftuppfuktare"

1089 "Utvärdering av erfarenheter av membranteknik för rening av rökgaskondensat"

1184 "Benchmarking of flue gas condensate cleaning technologies in waste-to-energy plants"

2015:148 "Tungmetalljonbytare för rening av rökgaskondensat"

2015:194 "Minskning av ammoniumhalt i rökgaskondensat"

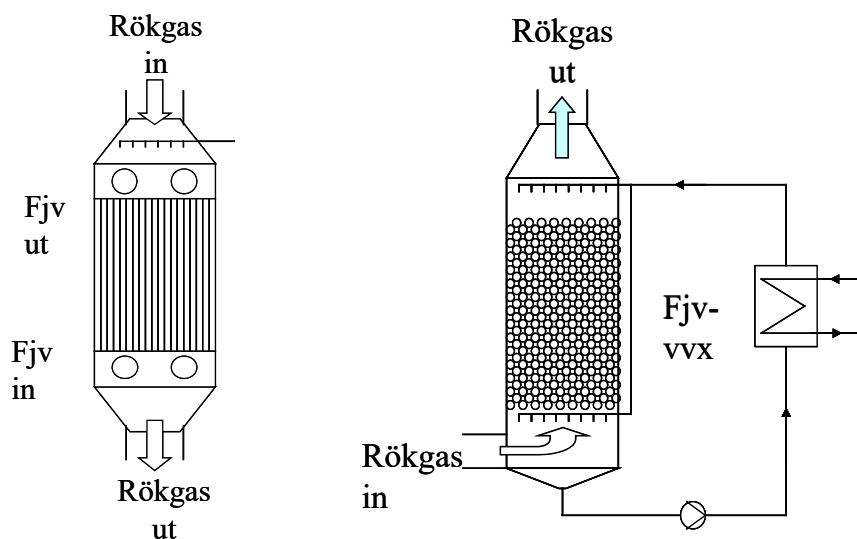


Figur 3. Torr avsvavling med slangfilter (BREF avfallsförbränning)

Figure 3. Dry flue gas desulphurisation with fabric filter (BREF waste incineration)

2.2.1 Rök-gaskondensering

Rök-gaskondensorn har oftast som huvudsyfte att utvinna mer energi ur rök-gasen. Energin utvinns genom att den varma och fuktiga rök-gasen kyles och kondenseras mot fjärrvärmenätet antingen internt i kondensorn eller i en extern värmeväxlare.



Figur 4. Tub/lamellkondensor och skrubberkondensor (VF 719)

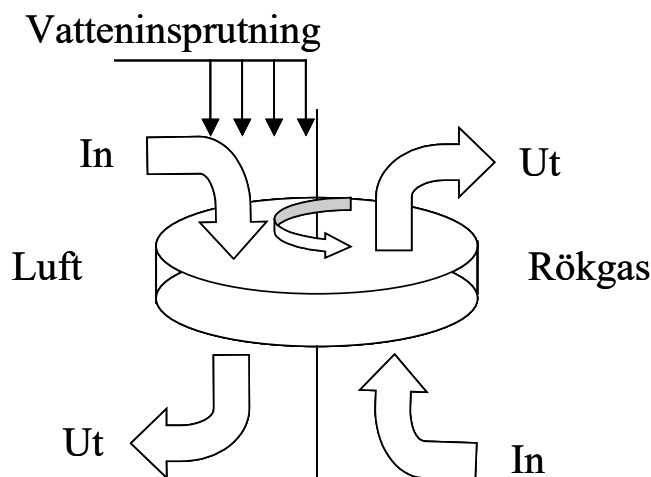
Figure 4. Tube/lamella flue gas condenser and scrubber condenser (VF 719)

Temperaturen i rök-gaskondensorn ligger i området från rök-gasens mättnadstemperatur 60–75°C till några grader över temperaturen på fjärrvärmenätets returtemperatur 40–60°C.

Det möjliga effektuttaget i rökgaskondensorn ökar om man ökar fukthalten i rökgasen. Detta utnyttjas vid rökgaskondensering med uppfuktare. Genom att fukt från rökgasen överförs till förbränningsluften i uppfuktaren, ökas mängden vatten som passerar genom pannan och därmed ökar också mängden fukt som kan kondenseras ut ur rökgasen.

Det finns ett flertal olika tekniker för luftuppfuktare men generellt gäller att processen arbetar vid förhållanden som är mycket gynnsamma för bakterietillväxt. Miljön är fuktig med en relativ fuktighet på 100 %, temperaturen ligger i området 25–45°C, det finns en god tillgång på syre och det finns ofta tankar och ytor där tillväxt kan ske. Överföringen av vatten mellan luftdelen och rökgasdelen i luftuppfuktaren är beroende av utformningen på luftuppfuktaren.

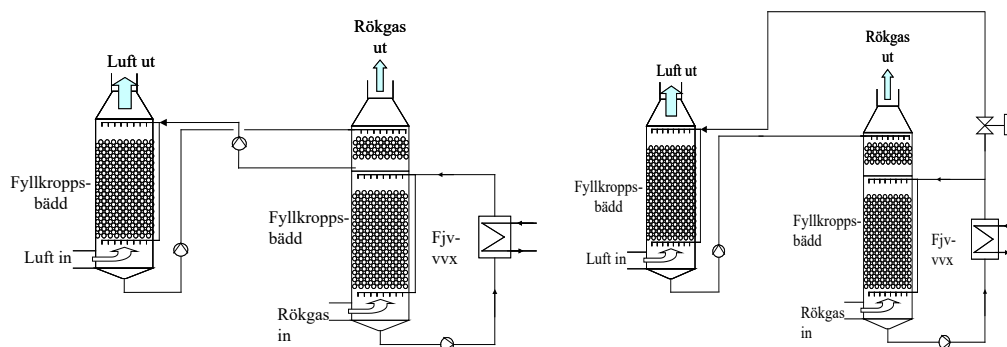
Vid uppfuktning av förbränningsluft i en roterande uppfuktare sprutas rökgaskondensat in på luftsidan i den roterande uppfuktaren. Därvid förångas så mycket kondensat att förbränningsluften blir mättad med fukt. Samtidigt värms luften något, eftersom inkommande kondensat är varmare än inkommande luft.



Figur 5. Roterande luftuppfuktare (VF 719)

Figure 5. Rotating air humidifier (VF 719)

I en luftuppfuktare av skrubbertyp är luftdelen och rökgasdelen separerade enheter men är också här sammankopplade på rökgaskondensatsidan, genom att en del av kondensatet leds till uppfuktaren för att fuktmätta och värma luften. En del uppfuktare är utformade så att kondensatet cirkulerar runt vid låga temperaturer mellan uppfuktaren och det översta, kallaste fyllkroppssteg i kondensorn (uppfuktarsteget). Andra är utformade så att kondensatet leds från uppfuktaren till kondensorns uppfuktarsteg och sedan får fortsätta ner genom det nedre, varmare uppfuktarsteget i kondensorn (kondenseringssteget) och vidare till värmeväxlaren. Efter värmeväxlaren delas kondensatflödet, en del leds tillbaka till kondensorsteget och en del leds till uppfuktaren.



Figur 6. Skrubberkondensor med luftuppfuktare (VF 719)

Figure 6. Scrubber condenser with humidifier (VF 719)

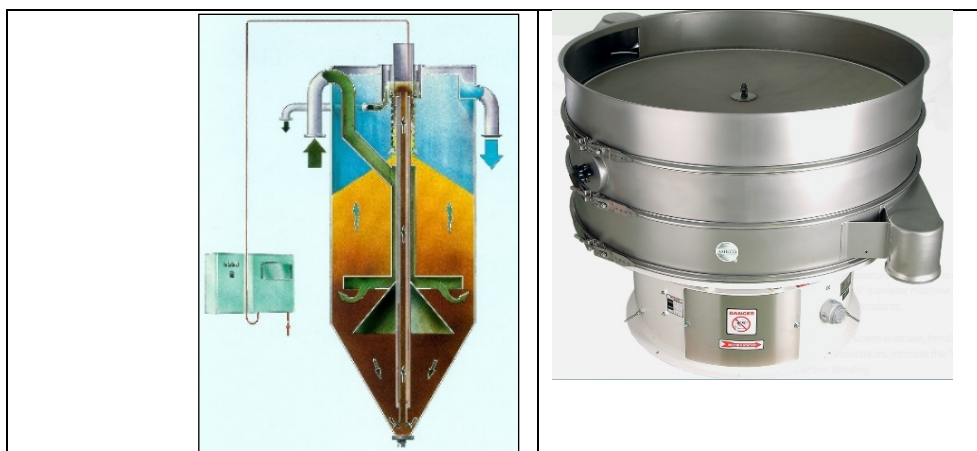
2.2.2 Rök-gaskondensering med separat quench/surskrubbersteg

Avfallseldade anläggningar, där rökgasen skrubbas och kondenseras i flera steg, har ofta lågt pH i det första steget på grund av att rökgasens innehåll av klorider tvättas ut här. Det första steget kallas därför ofta för surt steg eller kloridsteg. Ibland benämns det quench (störtkylare) eftersom störtkylning med vatten, så kallad quenchning, görs i inloppet till skrubbern. I avfallseldade anläggningar har quench/sursteg normalt en egen vattencirkulationskrets. Avdragsflödet, det så kallade survattnet, kan renas separat eller återföras till pannan.

En del nyare biobränsleeldade anläggningar har också sursteg, där en stor del av rökgasens stoft och sura gaser fångas upp. Survattnet återförs till pannan och bara rök-gaskondensatet från kondenseringssteget behöver ledas vidare till rening.

2.2.3 Kondensatrening

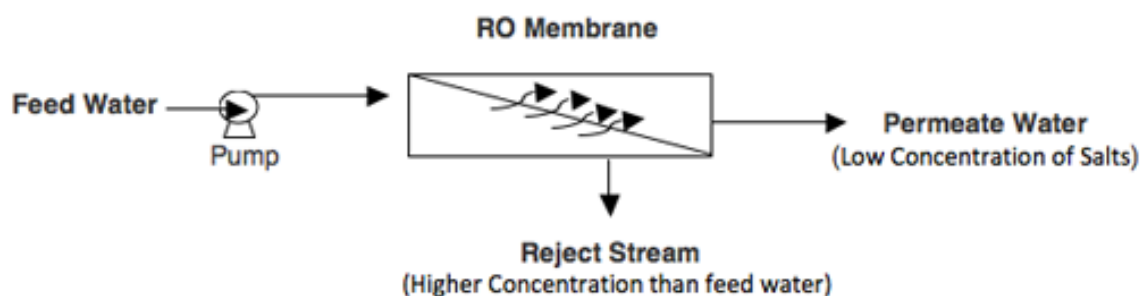
Rök-gaskondensatrening görs idag med ett antal olika tekniker. Partiklar avskiljs med sandfilter, skaksil, påsfilter eller andra mekaniska filter.



Figur 7. Sandfilter och skaksil (Nordic Water och AMKCO)

Figure 7. Sand filter and Vibra-screen filter (Nordic Water and AMKCO)

Tungmetaller kan avskiljas genom fällning, flockning, sedimentering och filtrering. Tungmetaller kan också avskiljas med tungmetallselektiva jonbytare. I och med att det har blivit vanligt att återvinna rökgaskondensat, eller i alla fall att planera för att återvinna, har också membrantechnik blivit vanligt vid kondensatrening precis som tidigare vid avsaltning. Kondensatrening med UF (ultrafiltrering) och RO (omvänd osmos, engelska: reverse osmosis) väljs ofta av nya anläggningar.



Figur 8. RO-anläggning (Puretec)

Figure 8. RO plant (Puretec)

Ofta används en kombination av flera olika reningssteg. Först avskiljs partiklar. Om RO finns görs partikelavskiljningen ofta med ett mikrofilter (MF), t ex i form av påsfilter eller skaksil plus UF före RO. Det förekommer också att partikelavskiljningen görs med sandfilter. MF plus UF avskiljer fler partiklar än sandfilter men kräver oftast mer tillsyn och underhåll än ett sandfilter.

2.3 MEMBRAN I VATTENRENINGAR

2.3.1 Avsaltning av dricksvatten

Membrantechnik har till stor del ersatt jonbytesteknik vid avsaltning av vatten. I totalavsaltningsanläggningar som använder kommunalt vatten som råvatten används normalt RO följt av EDI och/eller blandbäddsjonbytare. Före RO installeras avhårdare, för att göra vattnet kalkfritt innan det når RO, och därefter patronfilter, som ska skydda RO mot eventuella jonbytarpartiklar som har ryckts loss från avhårdaren. Efter RO är vattnet avsaltat och kan användas för att till exempel spädmata fjärrvärmenätet. Om vattnet ska användas för att spädmata ångpannors vattensystem, som har krav på totalavsaltat vatten, kompletteras RO med EDI och/eller blandbäddsjonbytare som avlägsnar de sista saltresterna ur vattnet.

2.3.2 Avsaltning av rökgaskondensat

Om råvattnet inte är kommunalt dricksvatten krävs mer eller mindre omfattande förbehandling före RO, för att avlägsna framför allt partiklar. Däremot krävs inte avhårdare, förutsatt att man har kalkfritt rökgaskondensat. I anläggningar som återvinner rökgaskondensat, och använder det för att producera avsaltat vatten, används oftast UF som förbehandling. UF skiljer av både partiklar och

makromolekyler från vattnet. Före UF avlägsnas de grövsta partiklarna med ett mikrofilter i form av till exempel skaxsil eller påsfilter.

Några anläggningar har sandfilter som alternativ till mikrofilter plus UF. Sandfilter kan vara tillräckligt för att rena rök-gaskondensat så pass att det kan ledas till RO. Det har dock en lägre avskiljningsgrad, särskilt när det gäller fina partiklar och makromolekyler. I anläggningar med sandfilter återvinns därför oftast inte rök-gaskondensatet, utan det renas bara för att klara utsläppskraven.

2.3.3 Avsaltning av havsvatten

I områden med begränsad vattenförekomst men tillgång till havsvatten används RO för att producera dricksvatten ur havsvatten. Världens största RO-anläggning för havsvattenavsaltning togs i drift 2005 i Ashkelon i Israel. Den hade då en kapacitet på drygt 300 000 m³/dygn. 2010 byggdes den ut till närmare 400 000 m³/dygn.



Figur 9. Havsvattenavsaltning (www.water.gov.il)

Figure 9. Sea water desalination (www.water.gov.il)

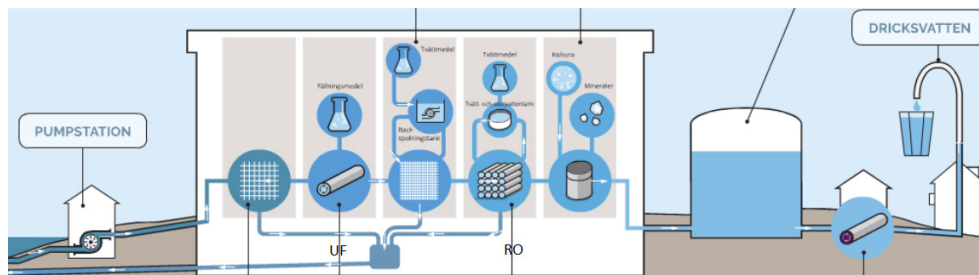
2.3.4 Avsaltning av ytvatten

Också vid konventionell dricksvattenrening i Europa har membrantechnik börjat att komma in. Grundvatten och ytvatten från sjöar behöver inte avsaltas med RO, till skillnad från havsvatten. Däremot har UF börjat användas som förbehandlingssteg, till exempel vid rening av älvatten på Lackarebäckens vattenverk i Göteborg, där Nordens största UF med en kapacitet på närmare 200 000 m³/dygn installerades i två etapper 2015 - 2016. UF valdes som ett sista reningssteg för att avskilja mikroorganismer och därmed bidra till att motverka dricksvattenburna sjukdomsutbrott.

2.3.5 Avsaltning av bräckt vatten

De senaste årens vattenbrist på den svenska östkusten har bidragit till att Gotland och Öland har investerat i avsaltning av Östersjövatten. Herrviksverket på Gotland har byggt en pilotanläggning där man använder UF för avskiljning av finpartiklar och mikroorganismer, följt av RO för avsaltning och sedan UV-ljus som ytterligare säkerhet mot mikroorganismer. Pilotanläggningen var klar 2016. Man planerar att bygga en stor anläggning 2018.

Sandviksverket på Öland invigde en anläggning för avsaltning av Östersjövatten i juni 2017. Tekniken är liknande den på Herrviksverket. UF för avskiljning av finpartiklar och mikroorganismer, följt av RO för avsaltning och sedan desinfektion med UV-ljus eller klor.

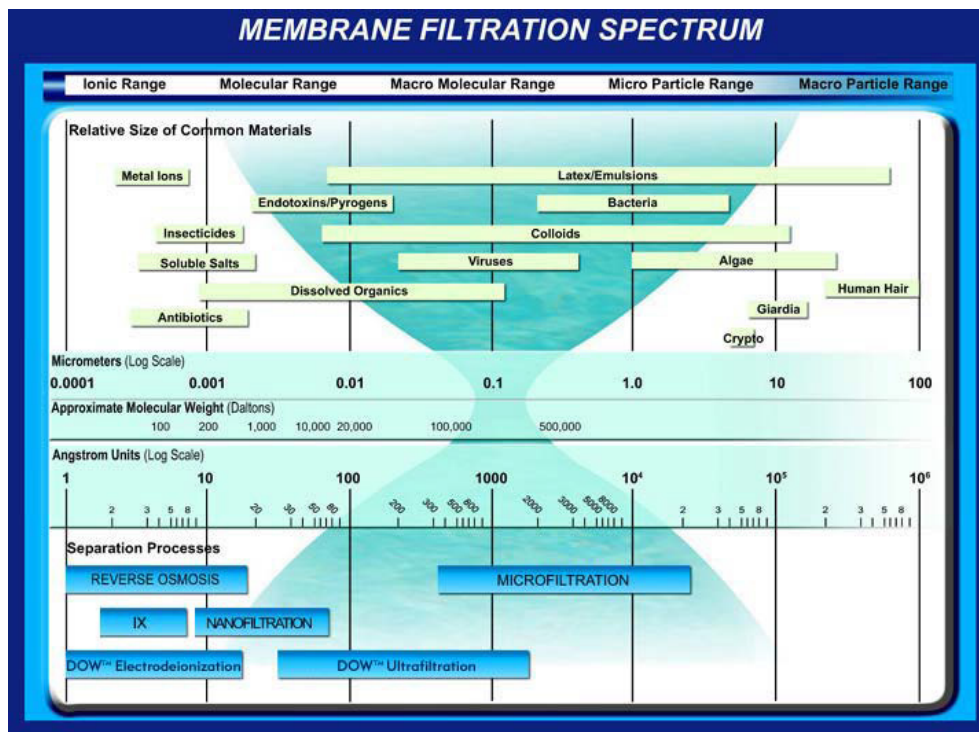


Figur 10. Havsvattenavsaltning (www.borgholmenergi.se)

Figure 10. Sea water desalination (www.borgholmenergi.se)

2.4 MEMBRANTEKNIK, UF, RO

Vid både UF och RO renas vatten genom filtrering i fina membran. Alger, bakterier och 0,01 - 0,1 μm stora makromolekyler avskiljs i UF. I RO avskiljs ännu mindre molekyler, som salt.



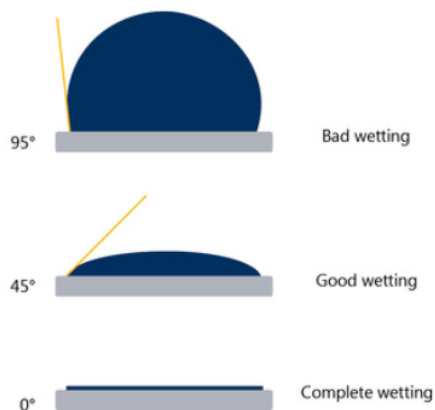
Figur 11. Membranprocesser för olika materialstorlek (www.dow.com)

Figure 11. Material size and membrane process guide (www.dow.com)

2.4.1 Membranmaterial

Vid både UF och RO används normalt olika typer av polymera membran. Keramiska UF-membran förekommer också, främst när temperaturen är för hög för polymera membran. Keramiska membran tillverkas av rostfritt stål, kiselkarbid eller olika metalloxider, främst oxider av aluminium, kisel, titan och zirkon.

Ett materials kontaktvinkel för vatten anger hur hydrofilt materialet är.



Figur 12. Kontaktvinklar för hydrofoba resp. hydrofila material (www.kruss.de)

Figure 12. Contact angles of hydrophobic and hydrophilic materials (www.kruss.de)

Teflon (PTFE) är ett mycket halt material som är vattenavstötande eller hydrofobt, vilket ger en stor kontaktvinkel så att vattendroppar pärlar sig på ytan. Polysulfon och polyetersulfon (PS, PES) är mer hydrofilt, vilket ger en mindre kontaktvinkel och bättre vätning av ytan.

I tabellen nedan finns uppgifter på kontaktvinklar för olika membranmaterial.

Tabell 5. Membranmaterial och hydrofilitet²

Materialtyp	Filtermaterial	Förkortning	Kontaktvinkel
Polymera membran			
	Polytetrafluoreten	PTFE	112
	Polypropen	PP	108
	Polyeten	PE	96
	Polystyren	PS	88
	Polyamid	PA	70
	Polyvinylidfluorid	PVDF	66
	Polyvinylacetat	PVA	61
	Polyakrylnitril	PAN	46
	Polysulfon/polyetersulfon	PS/PES	40 – 80
	Cellulosaacetat/cellulosatriacetat	CA/CTA	25 – 75
	Regenererad cellulosa	RC	10 – 100
	Keramiskt		<30

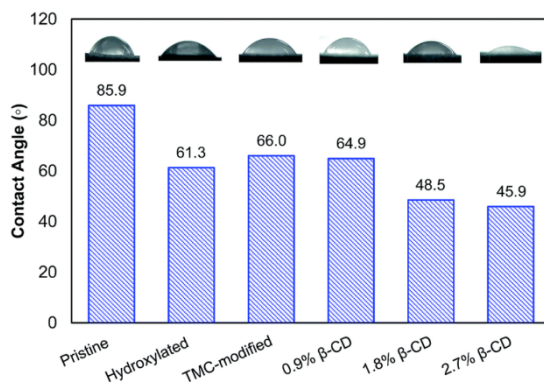
² Munir Cheryan, "Ultrafiltration and microfiltration handbook" (1998)

Seong-Hoon Yoon, "Membrane bioreactor processes: Principles and applications" (2015)

www.accudynetest.com "Critical Surface Tension and Contact Angle with Water for Various Polymers"

Hydrofila membran anses normalt vara mindre benägna till fouling, beroende på att föroreningar som orsakar fouling (kolloider, proteiner, lera, oljor) normalt är mer eller mindre hydrofoba. På grund av sin hydrofobicitet är föroreningarna mest kompatibla med hydrofoba membranytor, och dras inte lika mycket till hydrofila membranytor.

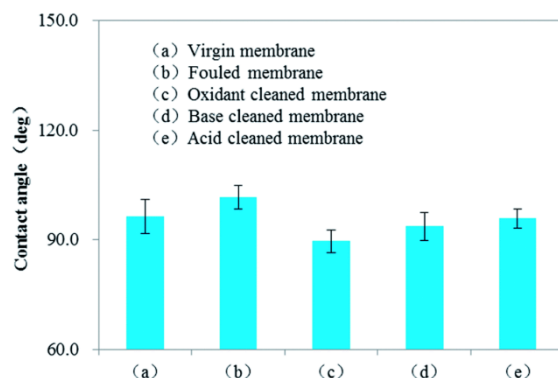
Kontaktvinklarna säger inte allt om hur hydrofilt eller hydrofobt membranet är. Kontaktvinklarna kan variera, om huvudmaterialet är modifierat genom tillsats av någon additiv. De påverkas också av ytans beskaffenhet och skrovlighet. Dessutom är membrans kontaktvinklar svåra att mäta. Därför finns det stora variationer bland litteraturuppgifter på membrans kontaktvinklar.



Figur 13. Kontaktvinklar för omodifierat och modifierat PVDF-membran (RSC)

Figure 13. Contact angles of pristine and modified PVDF membrane (RSC)

Membranens ytegenskaper förändras med tiden. Bland annat påverkas de av rengöring. Rengöring kan både leda till att membranytan blir mer hydrofil eller hydrofob. Olika membranmaterial påverkas på olika sätt. Enligt uppgift kan rengöring med hypoklorit leda till att hydrofoba membran blir mindre hydrofoba, men också till att hydrofila membran blir mindre hydrofila.



Figur 14. Kontaktvinklar för nytt och tvättat membran (RSC)

Figure 14. Contact angles of virgin and cleaned membrane (RSC)

2.4.2 Membranleverantörer

De flesta membranbaserade rökgaskondensatreningssystem i Sverige har levererats av Mercatus eller Radscan. Variationen av membranfabrikat ute i anläggningarna är därför begränsad.

I RO används spirallindade membran av PA. Vanligtvis används membran för bräckt vatten från GE Osmonics Desal med typbeteckningen AG8040F. Ett liknande membran är TM720 från japanska Toray.

I rökgaskondensatreningarnas UF används hålfibermembran av CTA. Hålfibermoduler av typen Aquadyn FT50-AC-FUC1582 från Microdyn-Nadir är helt dominerande bland de kontaktade anläggningarna. De tillverkas av Daicel och säljs också under varumärket Molsep.

3 Mikrobiologi och analysmetoder

3.1 INTRODUKTION MIKROBIOLOGI

Mikrobiologi handlar om levande celler, mikroorganismer, och hur de fungerar. Mikroorganismer innefattar en stor och diverserad grupp av encelliga till flercelliga kluster, från virus till vissa arter av svampar varav bakterier är den största gruppen, så kallade prokaryota celler. Till skillnad från makroorganismer, t.ex. en hund eller blomma, som består av ett flertal olika cellkluster med olika egenskaper och funktioner kan mikroorganismer oberoende av andra celler utföra sina livsprocesser som tillväxt, energitillverkning och reproduktion.

3.1.1 Olika typer av celler

Det finns två huvudtyper av celler, prokaryota och eukaryota celler. Till de prokaryota hör bland annat bakterier och till de eukaryota hör t.ex. ciliater, djurceller och växter. Det som skiljer dem åt är att de eukaryota cellerna är 100–1000 gånger större, innehåller även fler cellfunktioner samt 10 gånger fler gener än de prokaryota cellerna. Då de prokaryota cellerna är mindre och enklare kan de under bra levnadsbetingelser föröka sig genom delning var 20 minut. Detta gör att bakterieansamlingar fort kan skapa problem och vara svårbekämpade.

3.1.2 Energi och kol

Alla celler kräver energi för överlevnad, tillväxt och reproduktion. Energi kan tillgodogöras på tre sätt – från organiska ämnen, oorganiska ämnen eller från ljus.

- **Organiska ämnen:** om mikroorganismen får energi från dessa ämnen kallas de *kemoorganotrofa*. Den här gruppen är den vanligaste gruppen att odla/kultivera. Om de endast kan bryta ned dessa ämnen för att få energi med hjälp av syre kallas de *aeroba*. Om de i stället endast kan bryta ned ämnena utan syre kallas de *anaeroba*. Klarar de nedbrytningen både med och utan syre kallas de *anoxiska*.
- **Oorganiska ämnen:** om mikroorganismen får energi från oorganiska ämnen kallas de *kemolitotrofa*. Denna typ av metabolism kan endast hittas hos prokaryota celler, men är rikligt förekommande hos både bakterier och arkéer.
- **Ljus:** organismer som innehåller pigment som gör det möjligt för dem att använda ljus som energi kallas *fototrofa*. Dessa organismer behöver inte tävla om tillgången av kemiska ämnen för energi vilket kan vara en tillväxtfördel.

Alla celler oavsett om de är kemoorganotrofa, kemolitotrofa eller fototrofa behöver de kol för tillväxt. *Heterotrofa* organismer behöver en eller flera kolföreningar som deras kolkälla medan *autotrofa* organismer tillgodogör sig CO₂ som sin kolkälla.

Autotrofa kallas ofta primärproducenter för de tillverkar organiskt material av koldioxid både för sin egen tillväxt och överlevnad men även för kemoorganotrofer. De sistnämnda lever antingen direkt på autotrofer eller på deras exkrementer.

Till detta kommer mikroorganismer, främst arkéer, som klarar extrema miljöer, så kallade *extremofiler*. Dessa kan leva i t.ex. höga temperaturer som över 100 grader eller i extremt sura miljöer med pH ned på 0,7.

3.1.3 Biofilm

Många mikroorganismer, speciellt bakterier, har förmågan att bilda biofilm. Det innebär att t.ex. bakterier sätter sig på en yta och bildar ett skyddande "slem" bestående av extracellulärt material som polysackarider och proteiner. I biofilmen skapas en skyddad koloni för bakterierna där de kan samarbeta metaboliskt. De kan bland annat skicka signaler till varandra som gör att de uttrycker vissa gener i större grad och därmed förbättrar sin metabolism och förökning. Anledningen att bakterier fäster på en viss yta kan vara att platsen i sig är gynnsam och skyddad alternativt att ytan i sig kan nyttjas som föda.

3.1.4 Parametrar som påverkar mikroorganismer

Mikroorganismer kan beroende på applikation ses som en tillgång eller som ett problem. När de ställer till med problem kan det vara svårt att veta hur de undviks helt och hållet alternativt hur effekterna av deras närvaro minimeras. Det kan vara en enda mikroorganism som ställer till med problem eller ett helt mikrobiologiskt samhälle.

Alla mikroorganismer påverkas dock av sin levnadsmiljö och förökar sig som mest under vissa optimala levnadsförhållanden. Följande fysiska och kemiska parametrar påverkar tillväxten hos mikroorganismer:

Temperatur	En av de viktigaste parametrarna som påverkar en organisms levnadsvillkor. Alla mikroorganismer har ett visst temperaturintervall i vilket de lever, temperaturer över eller under intervallet innebär antingen att organismen går i dvala eller dör. Vissa organismer bildar endosporer i vilket de kan överleva sämre levnadsvillkor genom mer skyddande cellväggar och sänkt metabolism till dess omgivningen åter blir gynnsam.
pH	Precis som temperatur har alla mikroorganismer ett visst pH-intervall där de lever eller kan överleva inom. Oftast är detta pH-intervall mellan 2–3 enheter, t.ex. pH 7–9. Det är mycket få organismer som kan överleva under pH 2 eller över pH 10. Svampar är mer tåliga mot låga pH än bakterier.
Kolkälla	Tillgång till rätt typ av kolkälla, t.ex. organiska föreningar eller CO ₂ är en förutsättning för mikroorganismens överlevnad.
Vatten	Alla celler består till största delen av vatten, vilket gör detta ämne till en förutsättning för liv.
Energi	Olika organismer utnyttjar olika sätt att få energi: syre, ljus, oorganiska ämnen som t.ex. järn.
Växtsätt	Mikroorganismens tillväxtsätt t.ex. tillväxthastighet under optimala förhållanden, förmågan att röra sig med t.ex. flageller eller förmågan att bilda biofilm avgör hur framgångsrik en organism blir i ett givet tillstånd.

Tillgång eller avsaknad av syre	Mikroorganismer varierar i deras behov eller tolerans av syre. Vissa är strikt beroende av syre medan andra kräver strikt syrefri miljö. Vissa mikroorganismer kan leva både med eller utan syre och en viss grupp av organismer utnyttjar inte syre men kan ändå leva i syrerika miljöer.
Kväve	Förutom kol består en cell till 12 % av kväve vilket gör att tillgång till olika kvävemolekyler gynnar förekomsten av mikroorganismer.

Vissa mikroorganismer har mycket snäva spann i vilket de kan leva medan andra har större spann.

3.1.5 Bekämpning av mikroorganismer

Vid problem med mikrobiell tillväxt är den vanligaste metoden för bekämpning att tillsätta någon form av gift till sitt processvatten, t.ex. genom att tvätta sina membran med hypoklorit. Detta ger ofta ett snabbt avdödande men för med sig nackdelar i form av arbetsmiljö, slitage på membran och att mikroorganismerna återkommer efter en tid.

Ett annat angreppssätt vid bekämpning av mikroorganismer är att bekämpa rotorsaken till att de finns, och det kan man göra genom att till exempel:

- Förändra någon eller några av de parametrar som nämns i kapitel 3.1.4 och fundera på om det är något som går att ändra, t.ex. temperatur eller pH eller ämnen att eliminera, t.ex. i form av kolförening/föda.
- Undersöka hur "besmittningen" sker av vattnet. Kommer bakterierna från luft, eller någon annan källa uppströms membranen?
- Finns det platser i processen som gynnar mikrobiologisk tillväxt, med skyddad yta för tillväxt med tillgång till material?

3.2 ANALYSMETODER

Det finns ett stort antal analysmetoder när man undersöker den mikrobiologiska världen. Dels mer kvalitativa analyser som t.ex. DNA-analyser där man får reda på exakt art och dels mer kvantitativa analyser som t.ex. odling på agarplatta för beräkning av koloniformande enheter.

De vanligaste sätten att analysera mikroorganismer på är:

- **Odling på agarplatta** – där de organismer som kan växa på en agarplatta, dvs en platta med en specifik näringslösning bildar kolonier som sedan kan beräknas. Svaret man får är cfu/ml, det vill säga antalet kolonibildande organismer per ml. Det säger inget om det faktiska antalet organismer utan endast levande som kan bilda en koloni. Till detta tillkommer att endast de som kan leva på den valda typen av agarplatta kommer bilda kolonier. Detta kan vara både av för- och nackdel.
- **Mikroskopering** - kan användas både kvalitativt och kvantitativt. Större mikroorganismer, som t.ex. svampar eller ciliater, kan lätt klassificeras i ett mikroskop medan artbestämning av bakterier kräver dels mer avancerade mikroskop och någon form av infärgning av bakterien.

3.2.1 Analyser hos laboratorium

Vid en beställning av mikrobiologisk kontroll hos ett laboratorium undersöker de i princip alltid vissa typorganismer som de odlar och kvantifierar, oftast i form av en mikrobiologisk dricksvattenanalys. Nedan följer de vanligaste analyserna och vilken typ av information de bidrar med.

Analyser som kan ge ett värde

Odlingsbara mikroorganismer 22 °C – påvisar alla organismer (heterotrofer) som går att odla vid denna temperatur och visar på "totalt antal bakterier". Påvisar förekomst av bakterier, men slutsats om åtgärd kan ej göras. Dock kan kontinuerlig provtagning och analys bidra till kunskap om olika vattens innehåll och hur olika åtgärder påverkar antalet bakterier.

Långsamväxande – mikroorganismer som odlas i 7 dygn. Påvisar att det finns organismer som lever på nedbrytning av organiskt material.

Aktinomyceter – bakterier som bildar ett trådformigt grenat växtsätt. Kan avge unken lukt "källarlukt". Det är en av de vanligaste bakterierna på jorden och deltar i förmultning, det vill säga nedbrytning av organiska ämnen, t.ex. trä, gummi och mineralolja.

Mögelsvamp – samlingsnamn för mikroskopiska svampar med gemensam nämnare att de växer i form av flercelliga grenade trådar. Lever främst på dött organiskt material, som t.ex. ved, men kan även leva på levande organismer som t.ex. växter. Mögel trivs i fuktiga miljöer.

Jästsavamp – mikrosvamp som till skillnad från mögelsvamp lever främst i encellig form. Växer främst där tillgång till socker finns, t.ex. frukt och blommor. Kräver en fuktig miljö.

Mikrosvamp – summan av jäst- och mögelsvampar.

Analyser som främst påvisar fekal påverkan

Presumptiva Clostridium perfringens – stavformad anaerob bakterie som bildar sporer. Förekommer överallt och är vanlig vid matförgiftning. Analys av dessa sker främst för att påvisa fekal påverkan från människor och djur och rekommenderas ej för kondensat.

Intestinala enterokocker – tarmbakterie och därför en parameter för att påvisa fekal påverkan från människor och djur.

Koliforma bakterier 35 °C - visar främst på förekomst av tarmbakterier även om det finns vissa koliforma bakterier som växer naturligt i jord och på växter.

Echerichia coli (E. coli) – tarmbakterie och därför en parameter för att påvisa fekal påverkan från människor eller djur.

Toxicitetstest

Microtox - Toxicitetstest med *Vibrio fischeri*, som är en bakterie som sänder ut ljus. Ju mer toxiskt vatten man har desto mindre ljus sänder bakterien ut. Kan användas för att jämföra verk som har olika problem med bakterietillväxt, t.ex. kan toxiciteten i vattnet vara anledningen till att ett verk upplever mindre problem med tillväxt än ett annat verk.

3.2.2 Avancerade analysmetoder

För artbestämning av mikroorganismer finns mer avancerade metoder, här sammanfattas några av dem kort:

MALDI-TOF MS	(Matrix-assisted layer desorption ionization time of flight mass spectrometry) En masspektrometrisk metod som används främst för screening av organismförekomst. Resultatet ger pika som analyseras mot en databas. Resultatet säger vilka arter som förekommer i ett prov, men inget om mängden, t.ex. antalet organismer eller vilken av de förekommande arterna som det finns mest av.
DNA eller RNA-analyser	Med hjälp av DNA- eller RNA-bitar, det vill säga från den genetiska koden, analyseras vilka organismer som förekommer i ett prov. Kräver att man amplifierar bitarna för att sedan kunna jämföra svaren mot en databas. Resultatet säger vilka arter som förekommer i ett prov och inget om antalet.
FISH	(Fluorescerande in situ-hybridisering) Fluorescerande prober som fäster på specifika kromosomer märks in i organismer som sedan analyseras i mikroskop. FISH används i syfte att antingen bekräfta förekomsten av en specifik organism i ett prov alternativt se hur utbredd den är i ett prov. Arten som man vill analysera måste vara känd för att rätt prob ska kunna användas.

3.2.3 Tester på anläggningar

Förutom att med hjälp av mikroskop analysera bakterieförekomst, som dessutom kan upplevas kunskapskrävande, är användandet av "dipslides" eller liknande metoder vanligt förekommande. "Dipslides" är små plattor med en näringslösning som driftpersonal kan doppa i ett prov som sedan får ligga i en inkubator under en viss tid och temperatur. Därefter kan antalet kolonier beräknas.

Fördelen med dessa snabbtester är att de är enkla att utföra och kan hjälpa driftpersonalen i beslut om t.ex. rengöring av membran. Nackdelen är att resultaten i antalet kolonier kan bero på användaren, hur metoden utförs och risk för kontaminering.

4 Tvättmetoder – bakteriebekämpning

4.1 DESINFEKTIONSMETODER HOS ANLÄGGNINGSGÄRMA

Gemensamt för de studerade anläggningarna som har problem med mikrobiell tillväxt och igensättning är, att man har försökt motverka och begränsa problemen med traditionella metoder, såsom klorering och UV-behandling. Detta är naturligt eftersom dessa metoder finns på marknaden och har testats både av kraft- och värmeverken själva (i t ex kylvattenkanaler, kylaggregat och fjärrkylsystem) och av andra branscher (i t ex dricksvattenverk och badhus).

4.1.1 Klorering

Klorering har testats eller görs rutinmässigt hos ett antal anläggningar.

Tabell 6. Dosering av hypoklorit hos referensanläggningarna.

Värtaverket/KVV8	5 ppm hypoklorit tillsätts före uppfuktare
Söderenergi	1 ppm hypoklorit tillsätts före uppfuktare
Strängnäs	1 ppm hypoklorit tillsätts före kondensatrening
Eskilstuna	2 ppm hypoklorit tillsätts före UF i kondensatreningen
Brista 1	3 ppm hypoklorit tillsätts före rotor
Högdalen	Test med UF-backspolning med hypoklorit har gjorts
Göteborg	2 - 3 ppm hypoklorit tillsätts före UF i kondensatreningen

Alla anläggningar som doserar hypoklorit doserar mellan 1 och 5 ppm. Alla doserar mängd mot flöde (flödesproportionellt) och mäter sedan klor manuellt för kontroll. KVV8 är den enda anläggningen som har kontinuerlig mätning av fritt klor i dagsläget.

4.1.2 UV

Flera av anläggningarna använder behandling med UV-ljus som komplement till kloreringen.

Värtaverket/KVV8	UV-behandling före kondensatreningen
Brista 1	UV-behandling före kondensatreningen
Göteborg	UV-behandling före UF i kondensatreningen

4.2 DESINFEKTION INOM ANDRA TILLÄMPNINGAR OCH BRANSCHER

Behov av desinfektion förekommer inom många områden där ljummet vatten kommer i kontakt med mikroorganismer via luft eller på annat sätt.

4.2.1 Kyltorn^{3, 4, 5}

I kyltorn, där kylvatten kyla genom avdunstning till luft, används olika metoder för att begränsa vattnets föroreningshalt. Först och främst tillämpas kontinuerlig avblödning av en mindre mängd av det cirkulerande kylvattnet. Mekanisk rening med olika typer av partikelfilter i vattenkretsen förekommer, liksom tillsats av korrosionsinhibitorer. Ofta tillsätts också biocider, för att motverka tillväxt av mikroorganismer.

Biociderna känns igen från badvattenbehandlingen nedan. Hypoklorit är vanligt i mindre kyltorn. Alternativt kan andra klor- och bromföreningar eller ozon användas. Om hypoklorit ger otillräcklig effekt kan man försöka med klordioxid.

Andra förekommande biocider i kylsystem, utöver de oxiderande klor-, brom- och syrebaserade biociderna, är t ex rengöringsmedel som kvartära ammoniumföreningar.

4.2.2 Bassängvatten^{6, 7}

I badbassänger tillförs mikroorganismer inte bara med luften utan också med de badande. Varje badande bidrar med $10^6 - 10^9$ mikroorganismer. Vid behandling av bassängvatten behöver man ta höjd för detta.

Klor är det helt dominerande desinfektionsmedlet i större bassänger i Sverige. Klor används oftast i form av natriumhypoklorit, med en dosering som ger 1 ppm fritt klor. Vid chockklorering används ibland klordioxid, som är effektivare mot mikroorganismer än hypoklorit. Chockklorering görs med tiobubbel klorhalt.

Behandling med ozon, UV-ljus eller väteperoxid är alternativ till chockklorering. Enbart UV-ljus är dock inte tillräckligt som kontinuerlig behandling.

Brom förekommer ibland, särskilt i mindre bassänger. Jod är mycket ovanligt numera. Den desinficerande effekten är i fallande skala; klor – brom – jod.

4.3 DESINFEKTIONSMETODER PÅ MARKNADEN^{7, 8, 9}

4.3.1 Hypoklorit

Klor används inte som ren klorgas Cl_2 vid desinfektion av bassängvatten. I stället används ofta natriumhypoklorit NaOCl , som är den aktiva beståndsdel i Klorin.

Hypoklorit tillverkas genom reaktion av NaOH med Cl_2 . Hypokloritlösningen, som normalt är 15 %-ig, bryts ner långsamt om den förvaras kallt, snabbare om

³ www.de.wikipedia.org

⁴ www.eurowater.se

⁵ www.prominent.se

⁶ www.lenntech.com

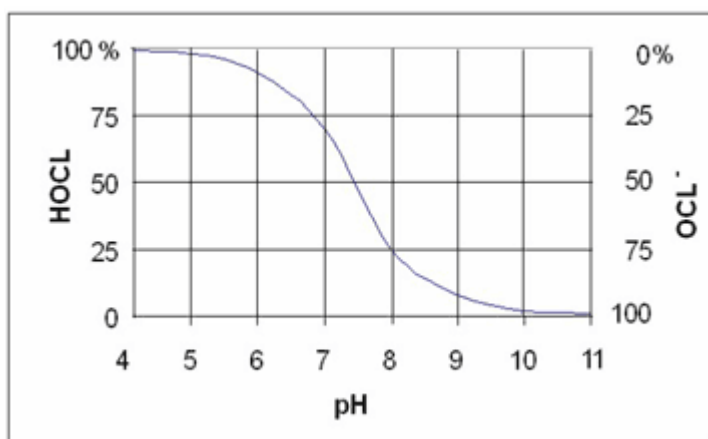
⁷ Socialstyrelsen, "Bassängbad – Hälsorisker, regler och skötsel" (2006)

⁸ www.lenntech.com

⁹ www.akzonobel.com

den förvaras varmt. Vid 25°C bryts 20% av hypokloritinnehållet ner på en månad. Hypoklorit tillverkas därför ibland på plats genom elektrolys av NaCl-lösning.

I vatten föreligger jämvikt mellan hypoklorit ClO^- och hypoklorsyrighet HClO . Jämvikten är pH-beroende. Eftersom syraformen är den mest bakteriedödande formen, tillsätter man i badbassänger ofta syra för att motverka högt pH.



Figur 15. Hypokloritjämviktens pH-beroende¹⁰

4.3.2 Klordioxid

Klordioxid ClO_2 är en gas som är tio gånger mer vattenlöslig än klorgas Cl_2 . Lösligheten är cirka 3 g/l. Klordioxid är mer selektivt än hypoklorit och reagerar bara med vissa av de organiska föreningarna i mikroorganismerna. Det krävs därför inte lika mycket klordioxid för att desinficera en viss mängd mikroorganismer, varför klordioxid ofta används vid chockklorering av vatten med höga halter mikroorganismer, där hypoklorit inte räcker till.

Klordioxid är instabil (mer instabil än hypoklorit i vattenlösning) och sönderfaller i klorgas och syrgas vid lagring. Den är explosiv under tryck och lagras säkrast i vätskeform vid 4°C. Klordioxid framställs oftast på plats genom blandning av klorat- eller kloritföreningar med syra.

4.3.3 Brom och hypobromit

I USA har brom Br_2 använts för desinfektion av vatten sedan 1930-talet. Brom och hypobromit är ett något mindre effektivt desinfektionsmedel än klor och hypoklorit. Högre halter krävs därför. Fördelen med brom är högre vattenlöslighet samt att man slipper farliga ångor, eftersom brom är en vätska till skillnad från klor som är en gas.

4.3.4 Ozon

Ozon O_3 har använts för desinfektion av dricksvatten i över 100 år. Ozon är ett mycket starkt oxidationsmedel, som bryter ner mikroorganismer utan att det bildas farliga biprodukter, som kloraminer och trihalometaner som man får vid

¹⁰ www.hach.com

desinfektion med klor. Medan klorföreningar diffunderar genom cellväggarna in i cellerna och påverkar olika enzymer inuti cellerna, gör ozonet hål i cellväggarna genom oxidation och förstör sedan enzymer, proteiner, DNA och RNA inuti cellerna.

Ozon har ett lägre Ct-värde (koncentration * tid) än klorföreningar.

Tabell 7. Olika desinfektionsmedels Ct-värden för desinfektion av virus¹¹

Disinfectant	Units	Inactivation		
		2-log	3-log	4-log
Chlorine ¹	mg · min/L	3	4	6
Chloramine ²	mg · min/L	643	1,067	1,491
Chlorine Dioxide ³	mg · min/L	4.2	12.8	25.1
Ozone	mg · min/L	0.5	0.8	1.0
UV	mW · s/cm ²	21	36	not available

CT values were obtained from AWWA, 1991.

¹ Values are based on a temperature of 10°C, pH range of 6 to 9, and a free chlorine residual of 0.2 to 0.5 mg/L.

² Values are based on a temperature of 10°C and a pH of 8.

³ Values are based on a temperature of 10°C and a pH range of 6 to 9.

Ozon tillverkas på plats genom koronaurldning. Ozon kan tillverkas av tryckluft eller av syrgas. Det senare är mest effektivt. Ozongeneratorer finns i ett antal olika utföranden, från enkla luftrenare för hushåll till mer avancerade för industriellt bruk. Ozongenereringen är energiintensiv och behöver tillgång till kylning.

I bassänger rekommenderas normalt en dosering av 1 g/m³ vatten. Ozon är instabilt och sönderfaller snabbt, så effekten blir ganska lokal. Ozon används ibland som komplement till klorering, för att öka den totala desinficerande effekten.

4.3.5 Väteperoxid

Väteperoxid H₂O₂ är ett starkt oxidationsmedel. Oxidationspotentialen är högre än för klorföreningar men något lägre än för ozon.

Tabell 8. Olika oxidationsmedels oxidationspotential¹²

Oxidationsmedel	Oxidationspotential
Hydroxylradikaler ·OH	2,8
Ozon O ₃	2,1
Väteperoxid H ₂ O ₂	1,8
Klordinoxid ClO ₂	1,5
Klor Cl ₂	1,4

Precis som ozon, bryter väteperoxid ner mikroorganismer utan att det bildas farliga biprodukter. Nackdelen med väteperoxid som desinfektionsmedel är att

¹¹ www.lenntech.com

¹² www.lenntech.com

väteperoxiden sönderfaller snabbt i vatten. Sönderfallshastigheten ökar med ökande temperatur. Det krävs också höga halter, kring 3 - 5 %.

4.3.6 UV

Ultraviolett ljus är kortvågigt, med en våglängd på 100 - 400 nm. UV-ljus verkar nerbrytande på olika typer av molekyler i mikroorganismerna, inklusive cellkärnans DNA. UV kan användas för desinfektion, men effekten är lokal kring UV-ljuskällan. Ljusstyrkan avtar med vattendjupet, snabbare ju grumligare vattnet är. UV används därför ofta i kombination med andra desinfektionsmedel.

För att döda 90 % av mikroorganismerna krävs UV-ljusdoser kring 10 mJ/cm². För 99 % avdödning krävs dubbelt så hög dos och för 99,9 % tredubbel dos.

Tabell 9. UV-dosbehov för 90 % avdödning av mikroorganismer¹³

Art	Dos (mJ/cm ²)
Bacillus subtilis (sporer)	12,0
Clostridium tetani	4,9
Legionella Pneumophilla	2,04
Pseudomonas aeruginosa	5,5
Streptococcus faecalis	4,5
Hepatit A virus	11,0
Saccharomyces cervisiae	6,0

4.4 ARBETSMILJÖ^{14, 15, 16}

Alla desinfektionsmetoder, som används för att begränsa mikroorganismers liv och tillväxt, påverkar förstås i viss mån också människor. Vid hanteringen av kemikalier och UV-ljus måste försiktighetsåtgärder och skyddsåtgärder beaktas.

4.4.1 Hypoklorit

Natriumhypokloritlösning är basisk och frätande. Arbetsplats och arbetsmetoder ska därför vara utformade så att direktkontakt med hypokloritlösningen förhindras eller minimeras. Personlig skyddsutrustning ska användas.

Om hypoklorit blandas med syra bildas giftig klorgas. Hypoklorit ska lagras avskilt från syra, så att man inte riskerar att hypoklorit och syra kommer i kontakt med varandra av misstag.

4.4.2 Klordioxid

Klordioxid är en giftig, explosiv och instabil gas. Den framställs därför oftast på plats genom blandning av natriumklorit NaClO₂ med saltsyra. Kloritlösning är precis som hypokloritlösning basisk och bildar giftig gas med syra.

¹³ www.lenntech.com

¹⁴ www.lenntech.com

¹⁵ Socialstyrelsen, "Bassängbad – Hälsorisker, regler och skötsel" (2006)

¹⁶ www.swedhandling.com

4.4.3 Väteperoxid

Väteperoxid är starkt oxiderande. Med katalysator eller förhöjda temperaturer kan väteperoxiden sönderdelas till vatten och syrgas. Risken ökar med ökande koncentration och mängd. Väteperoxid ska lagras i separat och brandtekniskt avskilt utrymme.

Arbetsplats och arbetsmetoder ska därför vara utformade så att direktkontakt med väteperoxidlösningen förhindras eller minimeras. Personlig skyddsutrustning ska användas.

4.4.4 Ozon

Ozon är en mycket giftig gas. Det hygieniska nivågränsvärdet är 0,1 ppm eller 0,2 mg/m³. Om ozon kommer ut i luft, kan den oxidera kemikalier som fett och oljor och orsaka bränder.

Ozon tillverkas därför normalt på plats. Överskottsozon måste destrueras, vilket kan göras t ex med katalysator. I lokaler där ozon hanteras installeras gasvarnare.

4.4.5 UV

UV-ljus kan ge ögonbesvär och samma besvär som vid kraftig solexponering. Faran för skador beror på ljusintensiteten, våglängden, avståndet till UV-lampan och hur länge man exponeras för ljuset.

4.5 TEKNIK OCH KOSTNADER^{17, 18, 19, 20, 21, 22}

4.5.1 Hypoklorit

Hypoklorit kan köpas som 15 %-ig vattenlösning. Den bör användas inom en till ett par månader, eftersom den bryts ner efterhand. Vid en dosering av 3 ppm hypoklorit till ett rökgaskondensatflöde på 5 m³/h blir årsförbrukningen (5000 h) 0,5 m³ 15 %-ig lösning. Om man väljer att dosera från IBC-behållare behövs inga stora investeringar i förrådstank och påfyllningsutrustning, utan man klarar sig med automatisk doseringsutrustning med pump.

0,5 m³ hypoklorit kostar 2 kkr exklusive frakt. Kostnaden för doseringsutrustning samt IBC-behållare är cirka 75 kkr.

4.5.2 Klordioxid

Dosering med klordioxid kräver mer utrustning. Dels behövs två förrådsbehållare för lagring av de två ämnena, t ex natriumklorit och saltsyra, som behövs för att

¹⁷ Per Wehlin, Prominent, per.wehlin@prominent.se

¹⁸ Jonas Larsson, Christian Berner, jonas.larsson@christianberner.com

¹⁹ Ralph Berdin, Brenntag Nordic, ralph.berdin@brenntag-nordic.com

²⁰ John Lindam, Ozonotech, j.lindam@ozonotech.com

²¹ Ola Ritzén, AGA, ola.ritzen@se.aga.com

²² Eva Andersen-Hörman, Air Liquide Gas, eva.andersen-horman@airliquide.com

tillverka klordioxid på plats. Dessutom behövs ett kloridioxidaggregat för själva tillverkningen.

Kemikaliekostnaden för tillverkning av 1 ppm klordioxid till 5 m³/h under ett år (5000 h) är cirka 3 kkr. Dessutom tillkommer kostnad för doseringsutrustning samt cirka 150 kkr för klordioxidaggregatet.

Alternativt går det att köpa 0,2 % eller 0,6 % klordioxid i vattenlösning på 200 kg fat. Hållbarheten är 6 månader. Under ett år (5000 h) behövs drygt 10 m³ 0,2 %-ig lösning för dosering av 1 ppm till 5 m³/h. Kemikaliekostnaden blir dock relativt hög, över 0,5 Mkr/år. Klordioxidlösningen kräver dessutom doseringsutrustning med pumphuvud och slangar av teflon eller liknande.

4.5.3 Mätning av restklor

En kontinuerlig mätare av fritt klor (hypoklorit) och klordioxid kan behövas, för att övervaka restklorhalten i vattnet nedströms så att inte eventuella RO-membran utsätts för klor. Kostnad cirka 40 kkr.

4.5.4 Brom och hypobromit

Bromering av vatten är inte så vanligt i Sverige. Brom och hypobromit saluförs inte heller som baskemikalier på samma sätt som hypoklorit.

4.5.5 Ozon

Ozon tillverkas på plats antingen av luft eller av enbart luftsyre. Det senare är att föredra eftersom man då undviker bildning av kväveoxider, som ihop med fukt kan ge salpetersyra. Ozongeneratoren innehåller då luftkompressor, syrgas-generator som separerar syre och kväve, samt tork. Resthalten ozon mäts inline. Om man har krav på 0 ppm resthalt ozon, får man komplettera med ett UV-steg.

En ozongenerator, som ger 1 ppm ozon i 5 m³/h, kostar cirka 400 kkr för en komplett anläggning med kompressor, syrgasgenerator etc. Elbehovet för denna anläggning är cirka 1 kW. Dessutom har man ett lika stort kylbehov.

Alternativt kan man installera en ozongenerator som utgår från syrgas i tank eller gasflaskor. Detta ger en cirka 100 kkr billigare ozongenerator, men man får en årlig driftkostnad på knappt 1 kkr för inköp av syrgas.

4.5.6 UV

Svenskt Vatten har gett ut en publikation om UV-behandling av dricksvatten²³, där man listar för- och nackdelar med UV:

Fördelar

- UV-desinfektion har relativt låga investerings- och driftkostnader
- En UV-anläggning är relativt okomplicerad att driva
- En UV-anläggning är relativt kompakt

²³ Svenskt Vatten, "Råd och riktlinjer för UV-ljus vid vattenverk" (2009)

Nackdelar

- UV ger ingen resteffekt i ledningsnätet vilket i vissa fall leder till att UV bör kombineras med klor eller kloramin
- Om man har ett vatten som ger problem med beläggningar på kvartsglas och sensorfönster kan driften bli relativt arbetskrävande

Ett UV-aggregat för 5 m³/h rökgaskondensat, med 98 % transmittans (ogrumlat rökgaskondensat) och en UV-effekt på 400 J/m², kostar cirka 50 kkr.

Dessutom tillkommer en driftkostnad på 1 - 2 kkr/år, för bland annat lampbyte cirka en gång vart tredje år.

4.5.7 Sammanfattning kostnader

I tabellen nedan sammanfattas kostnadsuppskattningarna för de diskuterade teknikerna (kondensatflöde 5 m³/h, drifttid 5000 h/år).

Tabell 10. Kostnadsuppskattning för olika desinfektionstekniker.

	Investering (kkr)	Kemikalier (kkr/år)	Övrigt (kkr/år)
Hypoklorit (vattenlösning)	75	2	
Klordioxid (från klorit)	225	3	
Klordioxid (vattenlösning)	75	500	
Ozon (luftseparation)	400		5
Ozon (med syrgaslager)	300	1	5
UV	50		2

5 Metod och genomförande

5.1 METODBESKRIVNING

En viktig del av detta projekt har varit att samla in erfarenheter från anläggningarna som haft med mikrobiell tillväxt ett tag. Anläggningarna befinner sig ofta i olika faser, en del har haft problem i många år och andra har precis installerat membranteknik och börjat sin resa. Metoden har bestått av fyra delar; frågeformulär, work-shops, intervjuer och provtagning. Syftet har varit att kontakta så många anläggningar som möjligt för att höra om de har haft problem med mikrobiell tillväxt och hur och var problemen uppstått. Därefter har de bjudits in till diskussion i work-shops för att bolla frågeställningar från flera olika perspektiv. Här har en viktig fråga varit att försöka definiera vad som menas med ett "problem". Vad som upplevs som problem eller inte i en anläggning är i många fall en subjektiv bedömning. En viktig del i arbetet har således varit att försöka utröna hur stor del av ett upplevt problem (eller ett upplevt icke-problem) som kan härröra till anläggningarnas egna subjektiva bedömningar.

Därefter fokuseras arbetet på att välja ut anläggningar för intervjuer och provtagning. Målet var att få med anläggningar med- och utan problem, med olika bränslen och med olika anläggningskonfigurationer. Därefter togs ett provtagningsprogram med de parametrar som var aktuella för vår studie fram.

5.2 MEDVERKANDE ANLÄGGNINGAR

5.2.1 Frågeformulär

Ett första frågeformulär skickades ut till ett stort antal anläggningar, varav 15 anläggningar som svarade på frågeformuläret. Dessa finns i Tabell 11.

Tabell 11. Anläggningar som svarade på frågeformuläret.

Nr	Anläggningsägare	Anläggning	Panna
1	Stockholm Exergi	Bristaverket	Brista 1
2	Stockholm Exergi	Bristaverket	Brista 2
3	Stockholm Exergi	Högdalenverket	P1, P2, P3, P4, P6
4	Stockholm Exergi	Värtaverket	KVV6
5	Stockholm Exergi	Värtaverket	KVV8
6	Göteborg Energi AB	Sävenäverket	SÄV HP3
7	Kraftringen	Örtoftaverket	
8	Öresundskraft AB	Filbornaverket	KVV1
9	Mälarenergi AB	Kraftvärmeverket Västerås	Block 6
10	Söderenergi	Igelsta Kraftvärmeverk	IKV

Nr	Anläggningsägare	Anläggning	Panna
11	E.ON	Åbyverket, Örebro	Panna 5 (CFB)
12	E.ON	Händelöverket	P11 rosterpanna, P13 CFB
13	ESEM	Strängnäs KVV	
14	ESEM	Eskilstuna KVV	
15	Karlstads Energi AB	Hedenverket	Heden 3

Frågorna och resultatet av frågeformuläret finns i bilaga 1.

5.2.2 Work-shop

Under projektets gång har två work-shops genomförts med kemi- och driftpersonal från de olika anläggningarna; en under maj 2017 och en i september 2017. Samtliga 15 anläggningar i Tabell 11 bjöds in samt andra personer från olika kompetensområden, med ovärderlig kunskap. Work-shopen har gett en bra bild av vilka frågeställningar som man har brottats med i sin vardag ute på verken.

5.2.3 Intervjuer

Projektet har genomfört intervjuer med de anläggningar där provtagning skett. För att välja ut vilka anläggningar som skulle ingå i provtagningsprogrammet försökte projektet hitta gemensamma nämnare men också vad som skiljer dem åt.

Ofta säger man om rökgaskondenseringar och rökgaskondensatreningar att det inte går att jämföra dem och dra några generella slutsatser eftersom ingen är lika och alla skiljer sig åt. Men här var vi tvungna att hitta anläggningar som på något sätt representerar olika grupper av gemensamma nämnare. Frågeformuläret som skickades ut till anläggningarna hjälpte till att definiera gemensamma nämnare såväl som olikheter.

Den första frågeställningen var såklart; har anläggningen problem eller inte!

Med problem definierades att anläggningen måste göra upprepade oplanerade stopp p g a något som man antar kan vara biologisk påväxt på membranen. Stoppen görs när differenstrycket ökar över membranen, och flödet genom anläggningen minskar och det inte går att köra kondenseringen p g a att vattenreningen inte orkar med. Man måste stoppa och rengöra för att kunna köra igen, men ofta med minskad kapacitet.

Felsökningar och avhjälpande åtgärder utreds och sätts in, t ex införskaffande av UV-lampor, start av dosering av natriumhypoklorit, byte av membran till stora kostnader eller att kondensatåtervinningen till spädvatten inte fungerar tillfredställande, för att anläggningen inte vågar köra in kondensatet till spädvattenreningen och därmed riskera störningar i den processen också.

Av de femton anläggningarna i Tabell 11 upplever Brista 2, Örtofta, Filborna, Mälarenergi, Åbyverket och Händelöverket att de inte har några problem med mikrobiell tillväxt. Övriga upplever någon sorts problem enligt ovan beskrivning.

Nästa gemensamma nämnare är bränslet:

Indelningen sker här i biobränsle och avfallsbränsle, även om det finns bränslen som rör sig i gråzonen rent kemiskt när man tänker på påverkan på kondensatkvaliteten.

Nästa punkt är en rökgaskondensering med eller utan luftuppfuktare där uppfuktaren många gånger får bära skulden för den biologiska påväxten då den erbjuder en perfekt miljö för mikrobiologisk aktivitet; fukt, lagom varmt och många ytor att fästa på.

Även valet av mikrofiltret (MF) som sitter som första steg i kondensatreningen är en gemensam nämnare. En del anläggningar använder påfilter och andra använder skaksil. Alla anläggningar använder i princip likadana ultrafilter och RO-membran, men anläggningarna skiljer sig åt vad gäller valet av mikrofiltret. Ofta förefaller valet vara mer leverantörsrelaterat än något som anläggningarna själva är medvetna om, och därför krävställer under upphandlingen.

Utifrån dessa gemensamma nämnare och olikheter har anläggningarna grupperats och någon eller några anläggningar från varje gruppering har valts ut för provtagning. Till slut landade det i åtta anläggningar som var och en står för en typ av anläggningskonfigurerings, se Tabell 12.

Tabell 12. Anläggningar som deltog i intervjuer och provtagningsprogram.

Nr	Anläggning	Panna	Bränsle	Upplevda problem med biologisk tillväxt	MF	Uppfuktare	Rökgasrening före RGK
1	Bristaverket	Brista 1	bio	Problem	skaksil	uppfuktare	elfilter
2	Bristaverket	Brista 2	avfall	ej problem	påfilter	ej uppfuktare	kalk
3	Högdalen	P1, P2, P3, P4, P6	avfall	Problem	skaksil	ej uppfuktare	kalk
4	Värtaverket	KVV8	bio	Problem	skaksil	uppfuktare	kalk
5	Sävenäverket	SÄV HP3	bio	Problem	skaksil	uppfuktare	elfilter
6	Igelsta KVV		bio	Problem	skaksil	uppfuktare	kalk
7	Åbyverket, Örebro	Panna 5 (CFB)	bio	ej problem	skaksil	ej uppfuktare	elfilter
8	Strängnäs KVV		bio	Problem	skaksil	ej uppfuktare	kalk

5.3 PROVTAGNING

5.3.1 Analysparametrar

Parametrarna i Tabell 13 analyserades utifrån resonemanget i kapitel 3. TOC för kolkällan, kväve och fosfor som ger näring, suspenderade ämnen som säger en del om vattenkvaliteten, microtox som berättar om giftigheten, artbestämning med hjälp av DNA samt en utökad mikrobiologisk undersökning som ger oss svar på antal kolonier av bakterier och svampar.

Tabell 13. Provtagningsparametrar.

Nr	Analys		Syfte
1	TOC i vatten		De måste leva av något. Kolkälla.
2	pH (själva)		
3	Ammoniumkväve i vatten	Totalkväve N-tot	Näring
4	Nitratkväve i vatten		Näring
5	Nitritkväve i vatten		Näring
6	Totalfosfor i vatten	Totalfosfor P-tot	Näring
7	Temp (själva)		
8	Suspenderade ämnen i vatten		
9	Millipor (själva)		
10	Dipslide (själva)		
11	Microtox i vatten		Vattnets toxicitet
12	Artbestämning, DNA, specialanalys, sekvensering		Vad är det som växer? Svampar, bakterier, etc?
13	Dricksvatten utvidgad mikrobiologisk undersökning enl. SLVFS 2001:30		Kunna jämföra med tidigare provtagning då denna metod har använts mest.

5.3.2 Analyslab

I provtagningsplaneringen togs offerter in från tre olika analyslab. Valet föll på ett analyslab som kunde erbjuda samtliga efterfrågade typer av analyser till lägst kostnad. Tre provomgångar genomfördes med fem provpunkter på varje anläggning. Totalt skickades 528 provflaskor ut till sju olika adresser i Sverige.

5.3.3 Provtagningspunkter

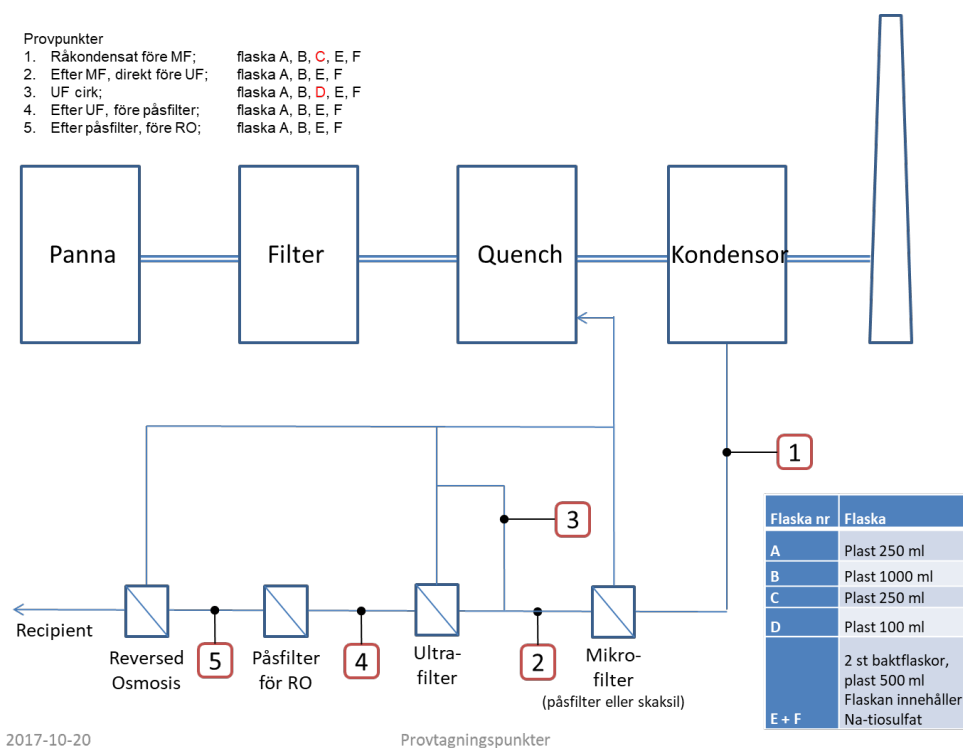
Provtagningspunkterna valdes ut för att få information på vad som går in till respektive filter. Anläggningskonfigurationerna ser lite olika ut mellan anläggningarna men varje provpunkt ligger förlagd före respektive filtersteg;

- före mikrofilter
- före UF
- före påsiltret som sitter för RO
- före RO

Dessutom togs prover på

- cirkulationskretsen över UF

eftersom det är där som anläggningarna upplever den största ansamlingen av mikroorganismer, se Figur 16.



Figur 16. Processbild med provtagningspunkter och flaskor.

6 Resultat

Analysresultat som anges som "mindre än" (<) hanteras med vedertagen metod genom att beräkna hälften av värdet mindre än. T ex <1 anges som 0,5 och <2,0 anges som 1,0. Analysresultat som anges som "större än" (>) hanteras genom att använda det aktuella värdet. T ex >5000 anges som 5000.

Provpunkterna enligt nedan:

- **Provpunkt 1:** på råkondensatet, före mikrofilter.
- **Provpunkt 2:** efter mikrofiltret (MF), före UF
- **Provpunkt 3:** i UF cirkulationskrets
- **Provpunkt 4:** efter UF, före påsfilter före RO
- **Provpunkt 5:** efter påsfilter före RO

Varje provpunkt provtogs tre gånger med några dagars uppehåll. Alla värden, utom resultaten från DNA-analyserna, är medelvärden från dessa tre stycken analyser.

DNA-analyser togs en gång på några strategiska ställen, där tillräcklig mängd organiskt material för ett DNA-prov bedömdes möjlig att få fram.

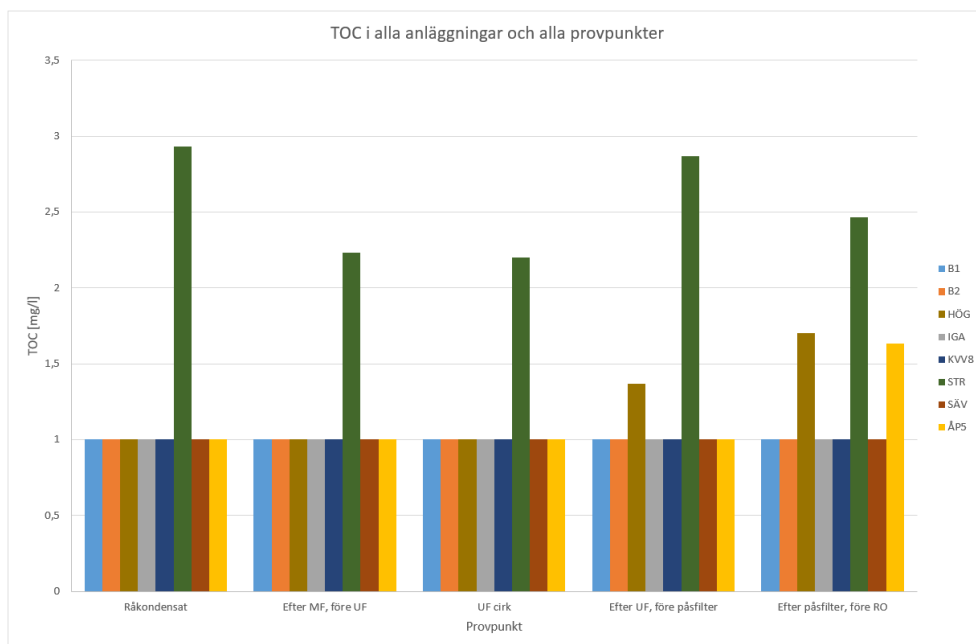
6.1 TOTALT ORGANISKT KOL, TOC

I råkondensatet ligger halterna totalt organiskt kol (TOC) mindre än 2 mg/l i samtliga anläggningar utom Strängnäs. Sannolikt föreligger kolet som CO₂ och det tyder på fullständig förbränning i processen och det finns marginellt, eller inget, organiskt material i råkondensatet.

Totalt organiskt kol skiljer sig marginellt mellan anläggningarna och varierar inte heller genom respektive anläggning i flödesriktningen från råkondensat till RO.

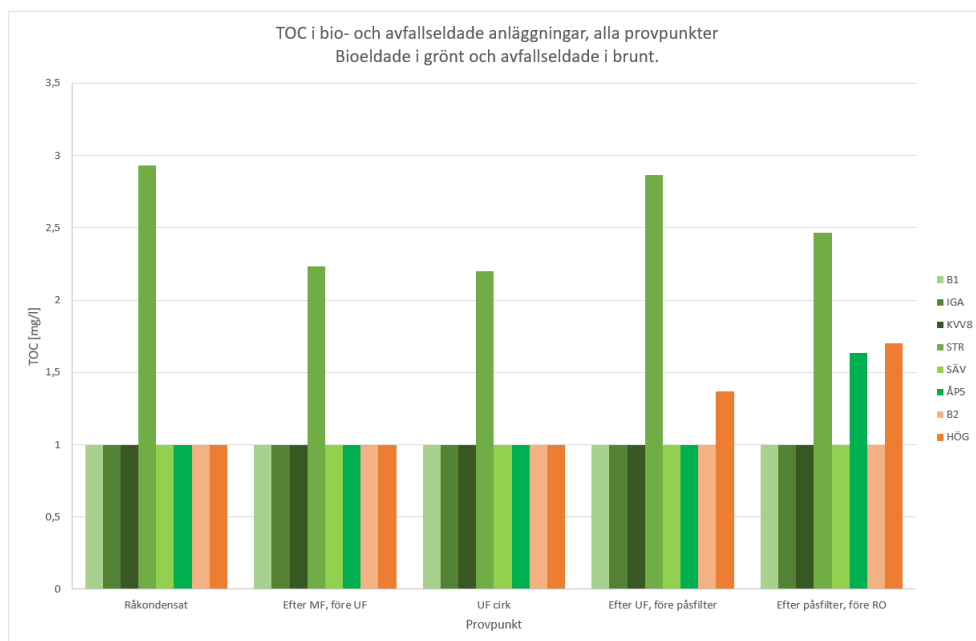
Strängnäs avviker från övriga anläggningar och har högre värden av TOC i samtliga provpunkter. Anledningen till de högre TOC-halterna är troligen ett bidrag från ett tillkommande "industrivatten" till deras rökgaskondensatrening, se intervjun med Strängnäs i bilaga 1. Industrivattnet kommer från ett nedklassat vattenverk och utgörs av ytvatten som genomgått sandinfiltration. Vattnet är inte klorerat och används i lokala industrier och innehåller låga halter av bakterier.

Värt att notera är att TOC återfinns i högre halter i slutet av reningsprocessen på Högdalen och Åbyverket. Halterna är fortfarande väldigt låga och nästan försumbara, men trenden är intressant.



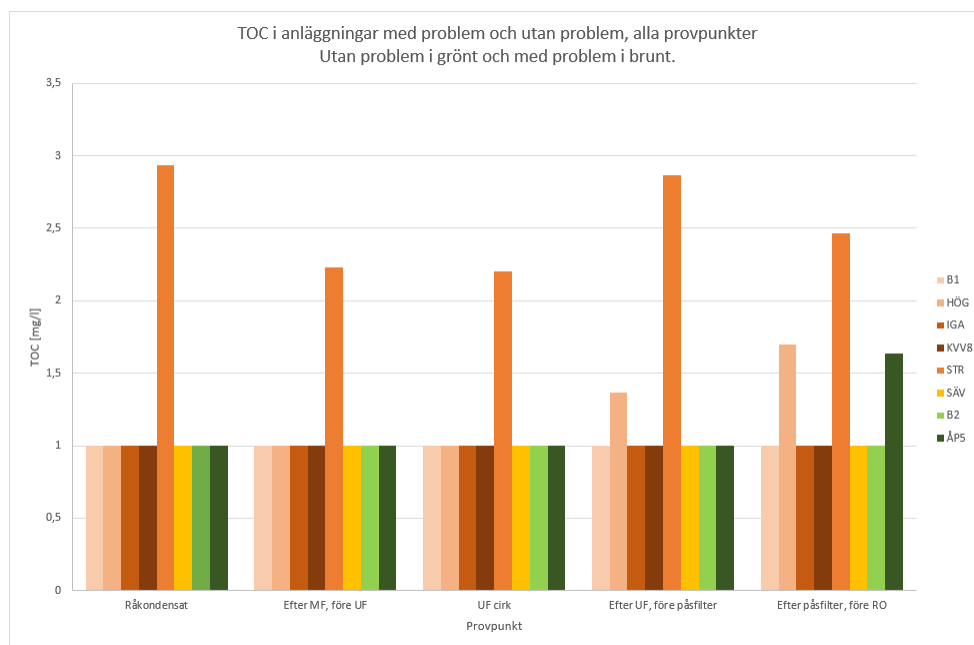
Figur 17. TOC [mg/l] i alla anläggningar och i samtliga fem provpunkter.

Figur 18 visar hur de bioeldade anläggningarna förhåller sig till de avfallseldade. Förutom att Strängnäs sticker ut, som nämnts ovan så finns inga betydande skillnader mellan anläggningarna som kan vara bränslerelaterat.



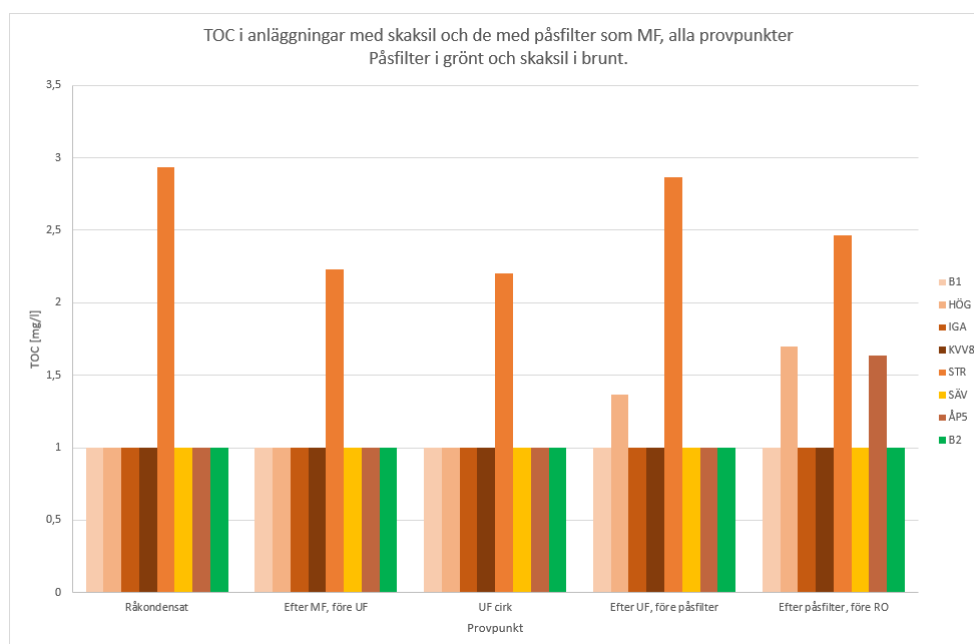
Figur 18. TOC i bio- och avfallseldade anläggningar, i samtliga provpunkter. Bioeldade (gröna staplar) och avfallseldade (bruna staplar).

Figur 19 visar skillnader mellan TOC i anläggningar med- och utan problem med mikrobiell tillväxt. Ingenting indikerar på några skillnader mellan anläggningar utifrån problem kontra inte problem.

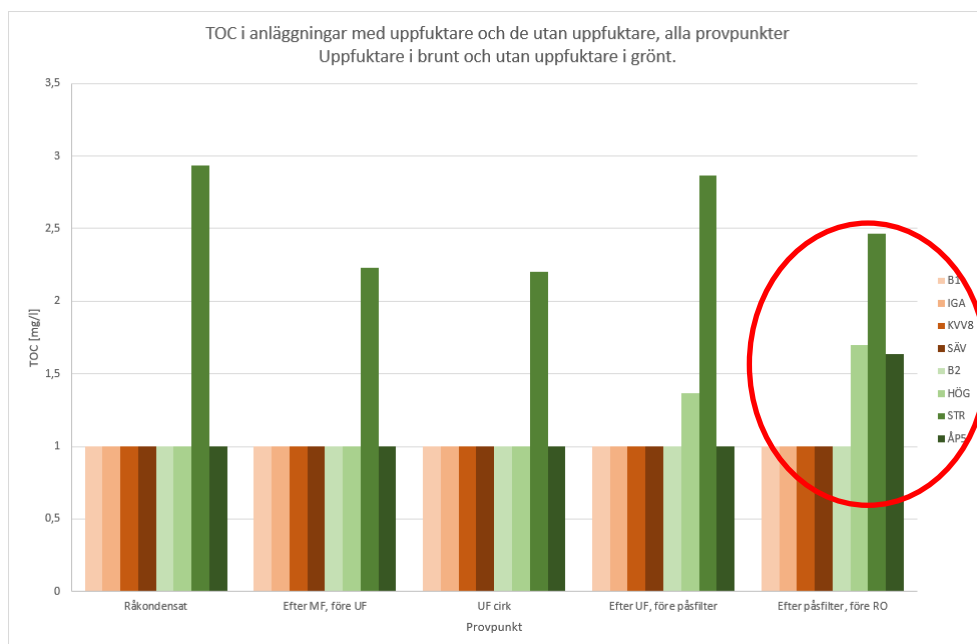


Figur 19. TOC i anläggningar med upplevda problem (bruna staplar) och utan problem (gröna staplar).

Figur 20 visar jämförelser mellan anläggningar med skaksil kontra påsfilter avseende TOC.

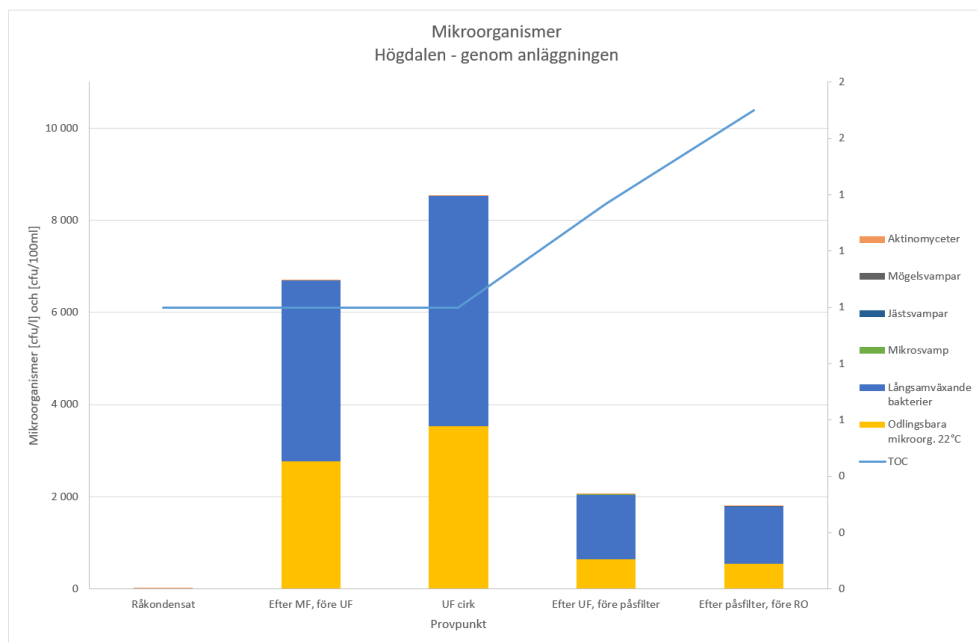


Figur 20. TOC i anläggningar med skaksil (gula och bruna staplar) och med påsfilter som MF (gröna staplar).

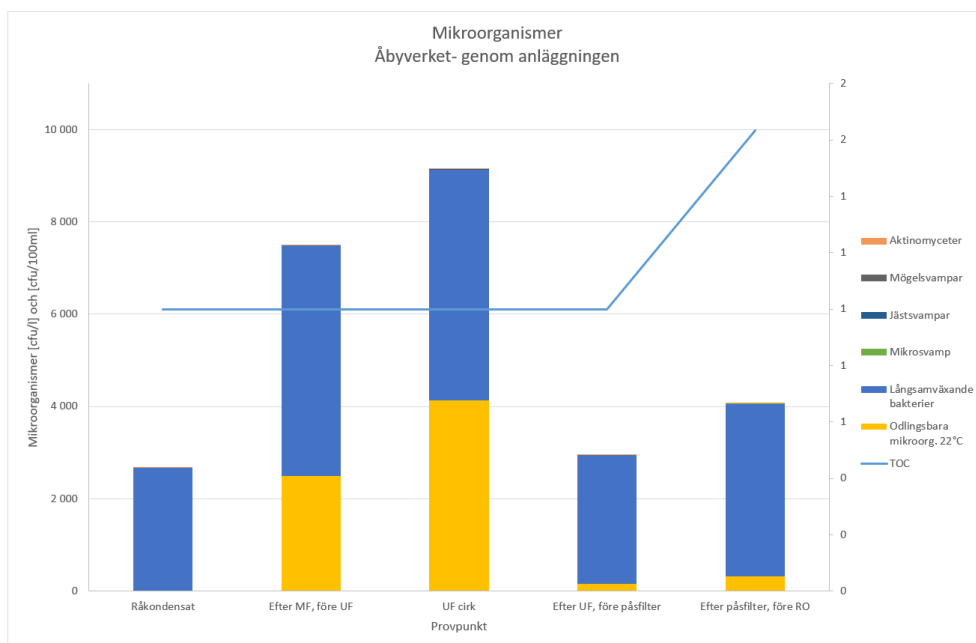


Figur 21. TOC i anläggningar med uppfuktare och utan uppfuktare. Uppfuktare i brunt och utan uppfuktare i grönt.

Förutom Strängnäs så ökar TOC på Högdalen och Åbyverket. För att kontrollera eventuell koppling till mängden mikroorganismer så plottas dessa jämte TOC i diagram 22 och 23. Någon koppling kan inte hittas och orsak till varför TOC ökar efter påsfiltret har inte identifierats.

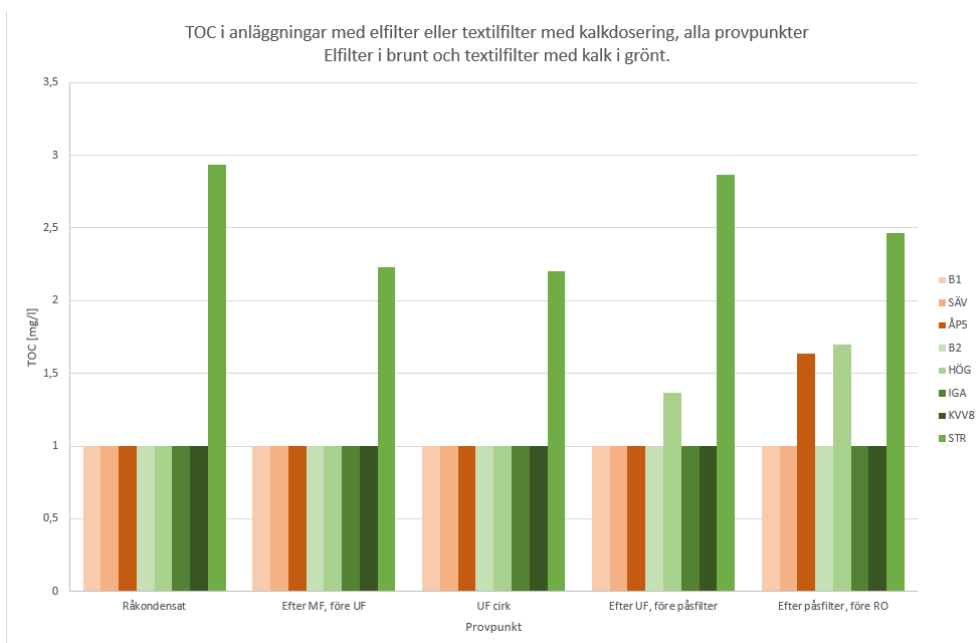


Figur 22. TOC relaterat till mikroorganismer i Högdalen. Det organiska kolet torde inte utgöras av mikroorganismer.



Figur 23. TOC relaterat till mikroorganismer i Åbyverket. Det organiska kolet torde inte utgöras av mikroorganismer.

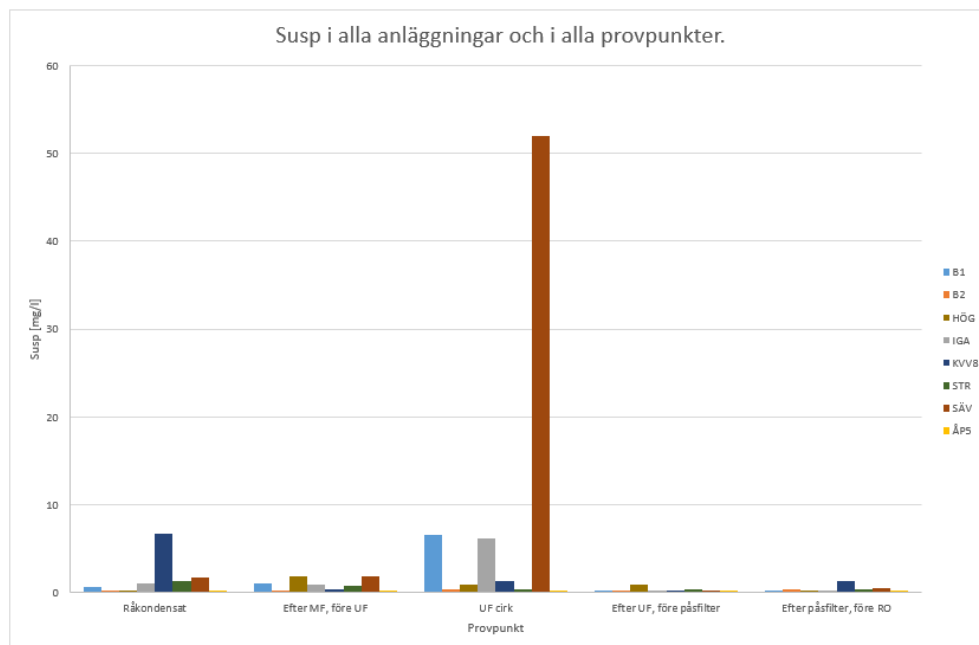
Figur 24 jämför skillnader mellan anläggningarnas rökgasreningsutrustning före RGK utan att kunna påvisa på några tolkningsbara resultat.



Figur 24. TOC i anläggningar med elfilter (bruna staplar) eller textilfilter (gröna staplar) med kalkdosering.

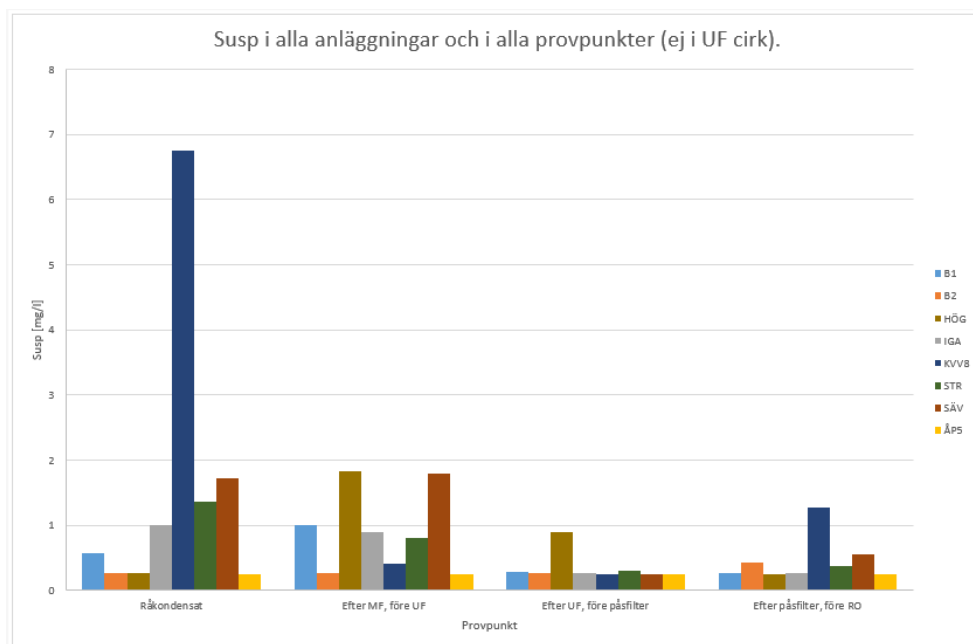
6.2 SUSPENDERAT MATERIAL (SUSP)

Susp är låg i samtliga provpunkter på samtliga anläggningar. Det finns några naturliga undantag, t ex halten i cirkulationskretsen över UF, se Figur 25, eftersom det är här som partiklar ska fastna och avskiljas från kondensatet.



Figur 25. Susp i samtliga anläggningar och samtliga provpunkter.

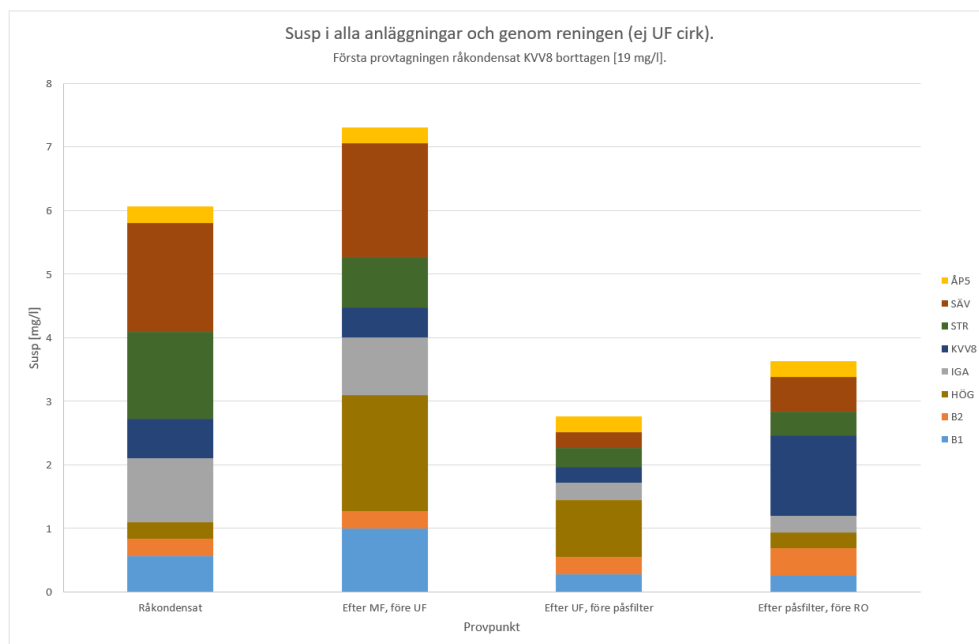
I Figur 26 är provpunkten UF cirk borttagen. Diagrammet visar att susp på flera anläggningar är högre efter mikrofiltret än i råkondensatet. Brista 1, Högdalen och Sävenäsverket har en högre halt susp efter sina respektive skaksilar än före. Avseende susp över påsfiltret före RO så ökar halterna på Brista 2, KVV8, Strängnäs och Sävenäsverket. Samma mönster ses på Brista 1 där milliporfiltrering genomförs före- och efter skaksil. Resultaten därifrån visar ingen skillnad mellan råkondensatet och efter skaksilen. Figur 26 visar också att KVV8 har problem med hög susp i sitt råkondensat. Det framkommer också i genomförd intervju med KVV8.



Figur 26. Susp på samtliga provpunkter (exklusive UF cirk) på samtliga anläggningar i vattenflödesriktningen.

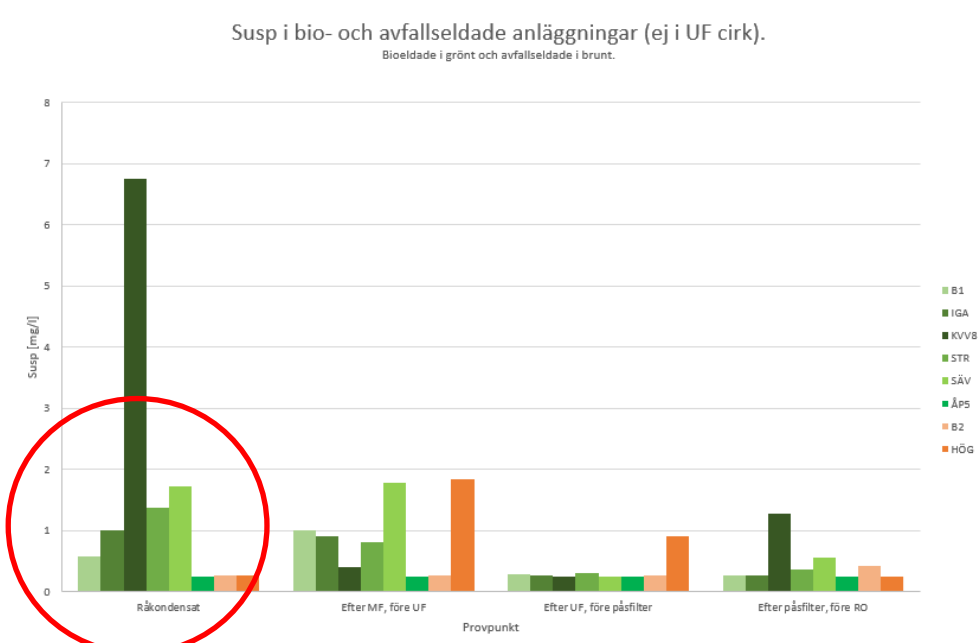
I Figur 27 slås samtlig mängd susp i respektive provpunkt ihop och jämförs med halterna från råkondensat fram till RO. Då ses att susp ökar över MF, minskar över UF och ökar igen över påsfiltret före RO. Mängden susp borde istället minska över varje filtersteg och vara som minst före RO.

Alla anläggningar har skaksil som MF, förutom Brista 2 som har påsfilter. Den största ökningen över skaksil står Brista 1 och Högdalen för. Störst ökning över påsfilter står KVV8 och Sävenäsverket för.



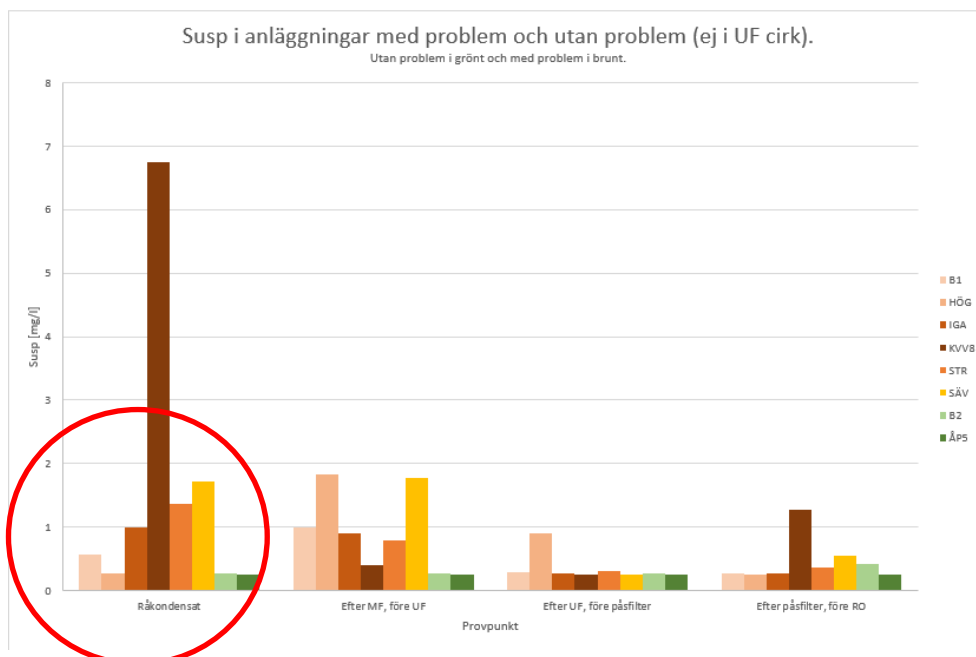
Figur 27. Suspenderande ämnen i de olika provpunkterna. Värden från alla anläggningar staplade på varandra. Totalen visar att suspen ökar efter skaksilen samt efter påsfiltret.

Bioeldade anläggningar har störst mängd susp i råkondensatet. Sävenäsverket verkar inte ha partikelavskiljning över skaksilen och på Högdalenverket ökar suspen efter skaksilen.



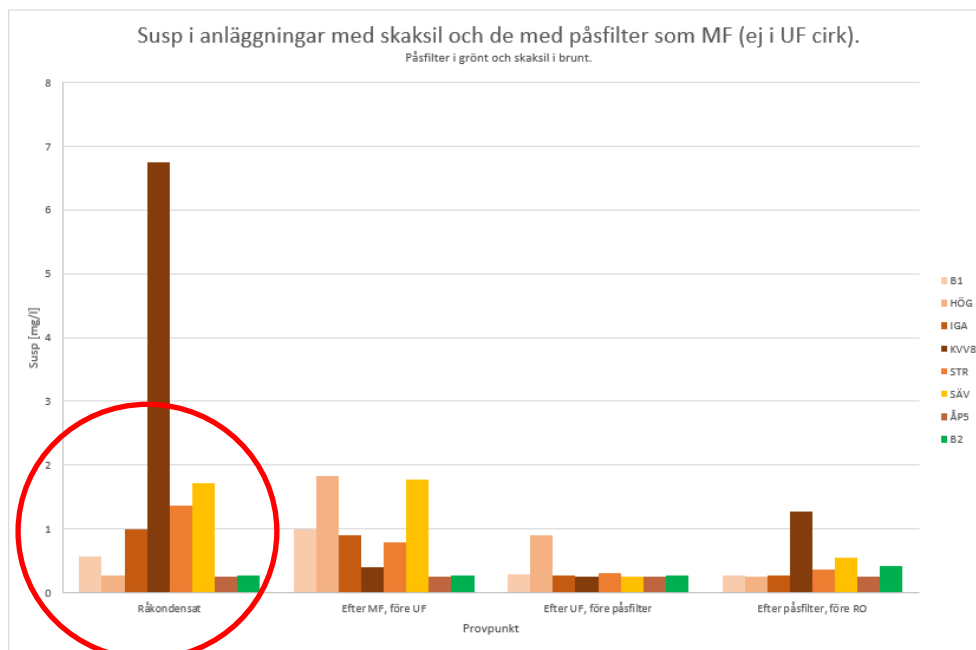
Figur 28. Susp i bio- (gröna staplar) och avfallseldade (bruna staplar) anläggningar (ej i UF cirk.).

Anläggningar med högre halter susp i råkondensatet upplever generellt mer problem än de med låga halter.



Figur 29. Susp i anläggningar med problem (bruna staplar) och utan problem (gröna staplar).

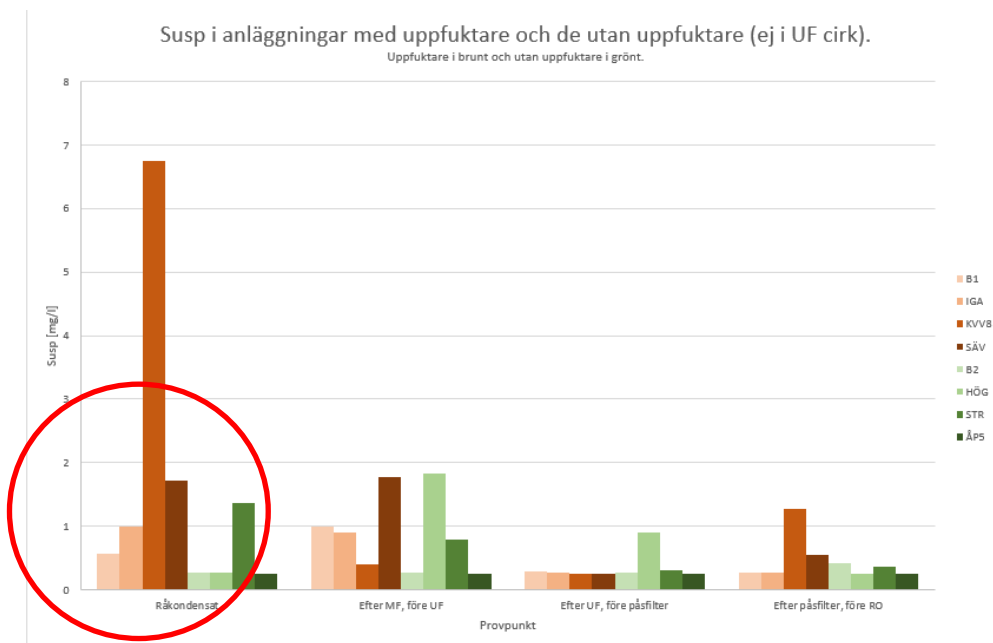
Endast B2 har påsfilter som mikrofilter, övriga anläggningar har skaksil.



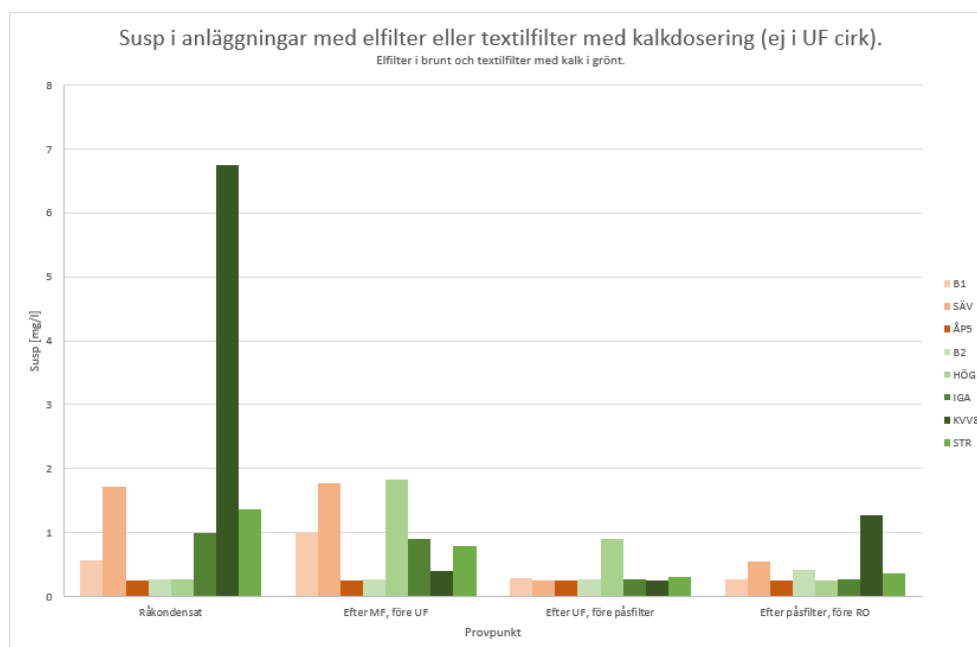
Figur 30. Susp i anläggningar med skaksil (bruna staplar) och de med påsfilter (gröna staplar) som MF.

KVV8 har hög susp i sitt råkondensat och upplever problem med detta. Deras kondensat tas från uppfuktaren som får sin luft från antingen pannhuset eller berggrumsventilationen. När luft tas från berggrumsventilationen ökar problemen. Sävenäsverket har också uppfuktare, men den sitter sist i reningen, och spolas bara med RO-rejekt. Denna placering av uppfuktaren påverkar därför inte

råkondensatet och efterföljande rening. Brista 1 hade förut sin uppfuktare placerad så att den spolades med RO-permeat vilket var katastrof för det renade kondensatet, som då blev förorenat genom uppfuktaren. Uppfuktaren spolas numera med råkondensat innan det går till skaksilen.



Figur 31. Susp i anläggningar med uppfuktare (bruna staplar) och de utan uppfuktare (gröna staplar).

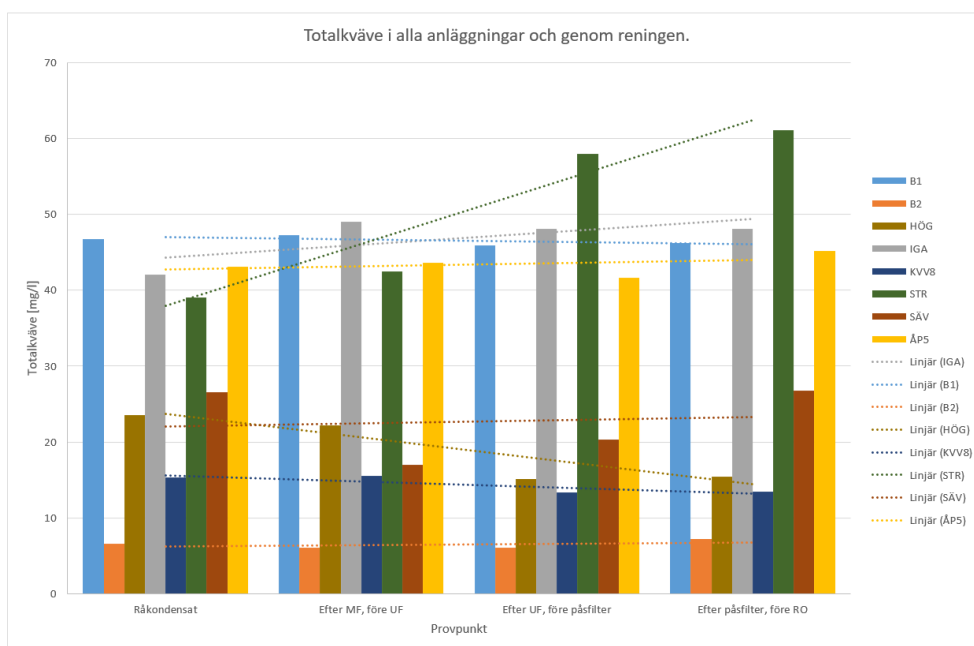


Figur 32. Susp i anläggningar med elfilter (bruna staplar) eller textilfilter (gröna staplar).

6.3 KVÄVE

Förutom kol utgörs en cell till cirka 12 % av kväve, vilket gör att tillgång till olika kvävemolekyler gynnar förekomsten av mikroorganismer. På ett vanligt avloppsreningsverk ligger halten av ammoniumkväve omkring ca 40 – 45 mg/l i det orenade avloppsvattnet när det kommer till verket.

Provtagningen på rökgaskondensat visar att ammoniumhalterna ligger i den storleksordningen på flera av kraftvärmeverken. Detta gäller för anläggningarna Brista 1, Igelsta KVV, Strängnäs och Åbyverket, se Figur 33.



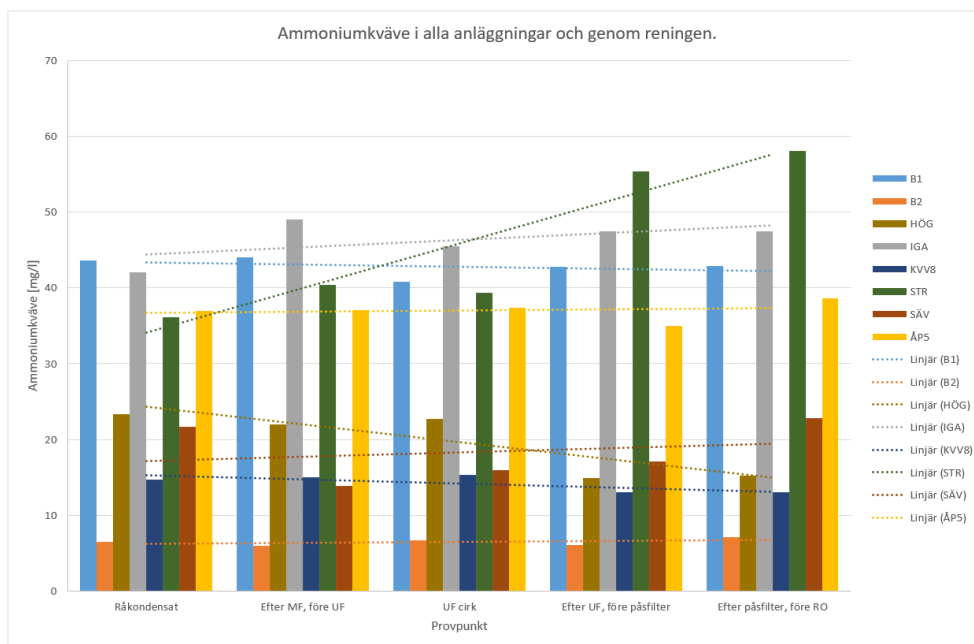
Figur 33. Totalkväve i alla anläggningar genom reningen från råkondensat till RO.

Anläggningarna Brista 2, KVV8, Högdalen och Sävenäsverket har lägre kvävehalter där Brista 2 ligger lägst på ca 6 – 7 mg/l.

Figur 33 visar totalkväve på de olika anläggningarna samt variationerna genom anläggningen. Totalkväve är summan av ammonium-, nitrit- och nitratkväve. Analyserna visar att halterna nitrit och nitrat är marginella och att ammoniumkväve utgör merparten av totalkvävet. För att förenkla provtagningen kan anläggningarna med gott samvete välja att bara analysera ammoniumkväve och ändå få en god uppfattning om halten totalkväve i vattnet.

För Strängnäs så ökar totalkvävet genom anläggningen, från 39 mg/l till 61 mg/l. För Högdalen minskar istället totalkvävet genom anläggningen, från 23 mg/l till 15 mg/l. För resterande anläggningar ligger totalkvävet konstant genom anläggningen.

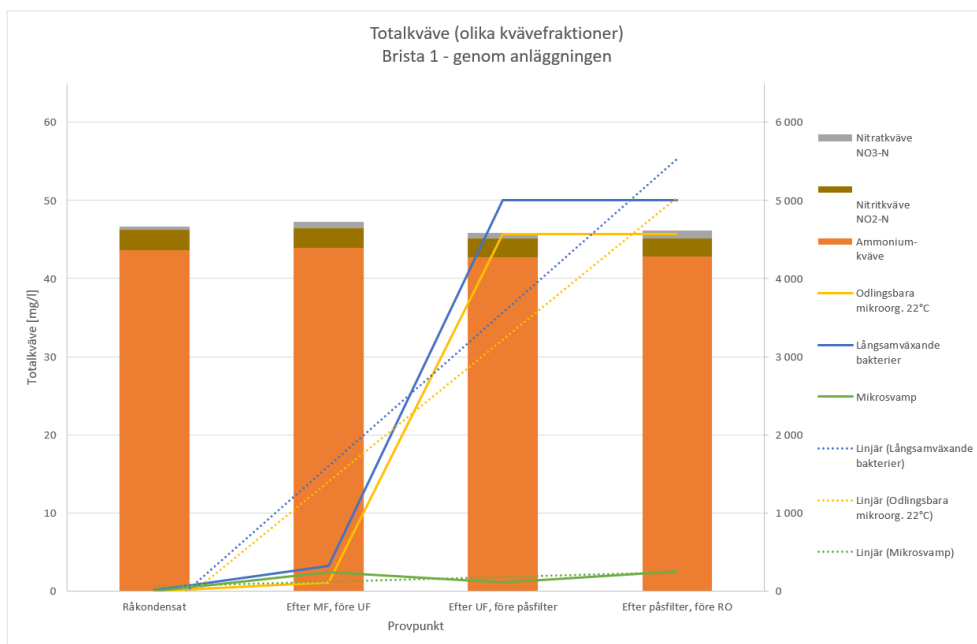
Figur 34 visar hur ammoniumkvävet varierar i alla provpunkter och ger samma bild som totalkvävet, dvs. ammoniumkvävet ökar genom anläggningen i Strängnäs, minskar genom anläggningen i Högdalen och är konstant genom anläggningen på övriga verk.



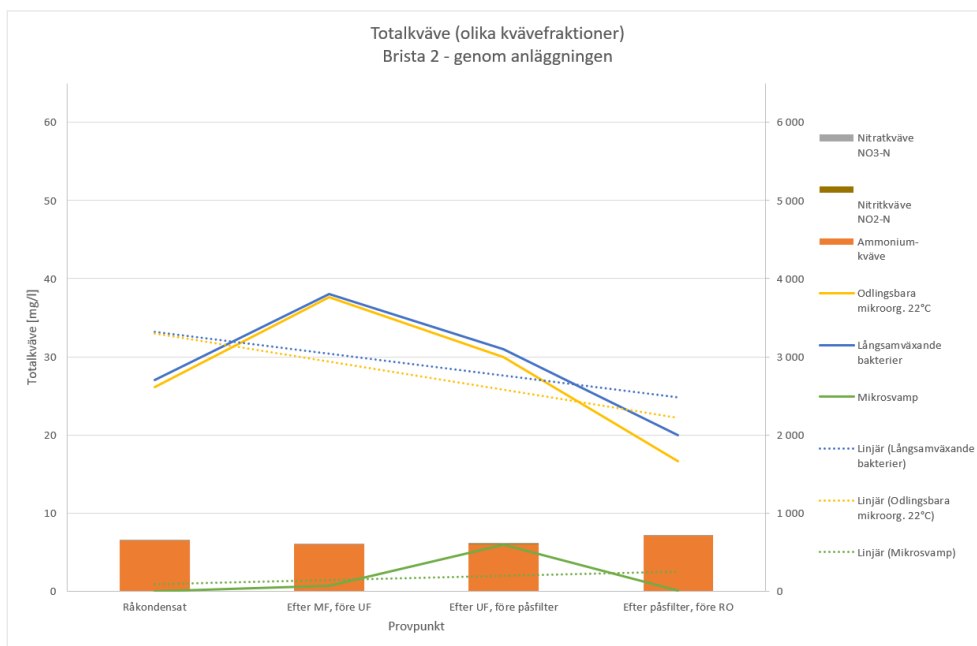
Figur 34. Ammoniumkväve i samtliga anläggningar och i samtliga provpunkter.

Analyserna visar alltså ingen minskning av kväve genom anläggningen, förutom Högdalenverket. Det går inte påvisa någon minskning av ammoniumkväve på grund av ökade bakteriemängder och deras kvävekonsumtion. En hypotes var att förekomst av bakterier och deras metabolism skulle oxidera ammoniumkväve till nitrit. Nitriten oxideras sedan till nitrat och ammoniumhalten reduceras därmed. Inget sådant samband har kunnat påvisas.

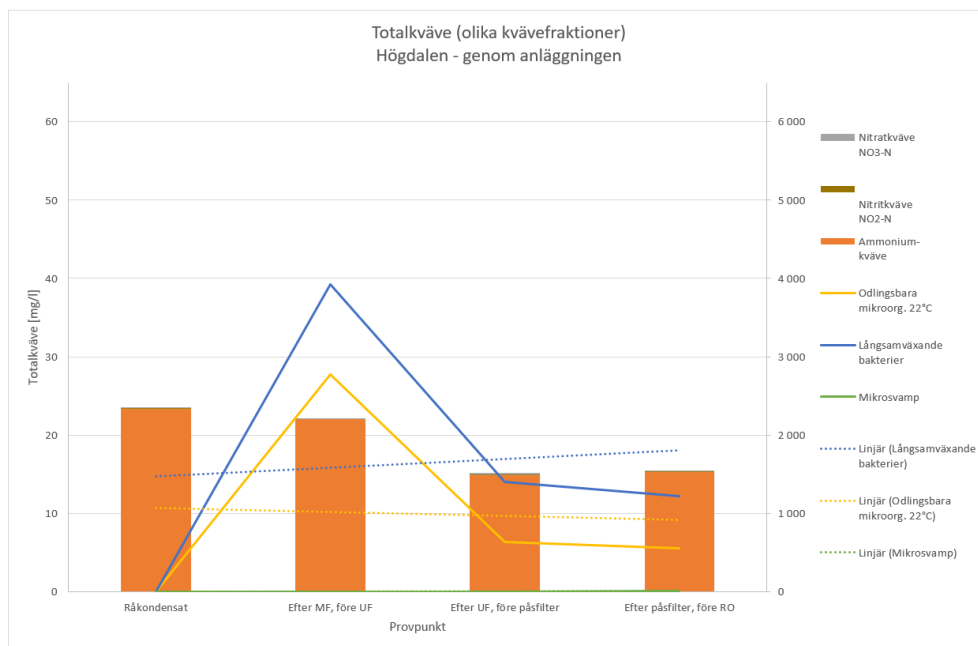
Figur 35 - Figur 42, visar på hur mängden mikroorganismer varierar med totalkvävet. Utseendet på graferna i figurerna blir olika och ingen entydig bild uppträder. Detta kan delvis bero på att några verk klorerar sina anläggningar.



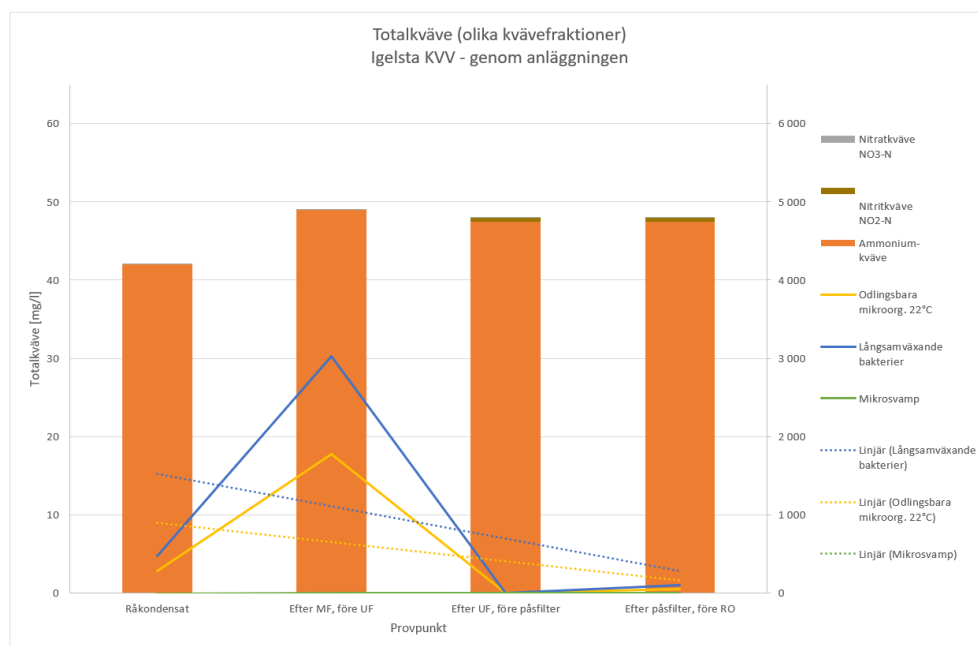
Figur 35. Totalkväve relaterat till mikroorganismer genom anläggningen för Brista 1.



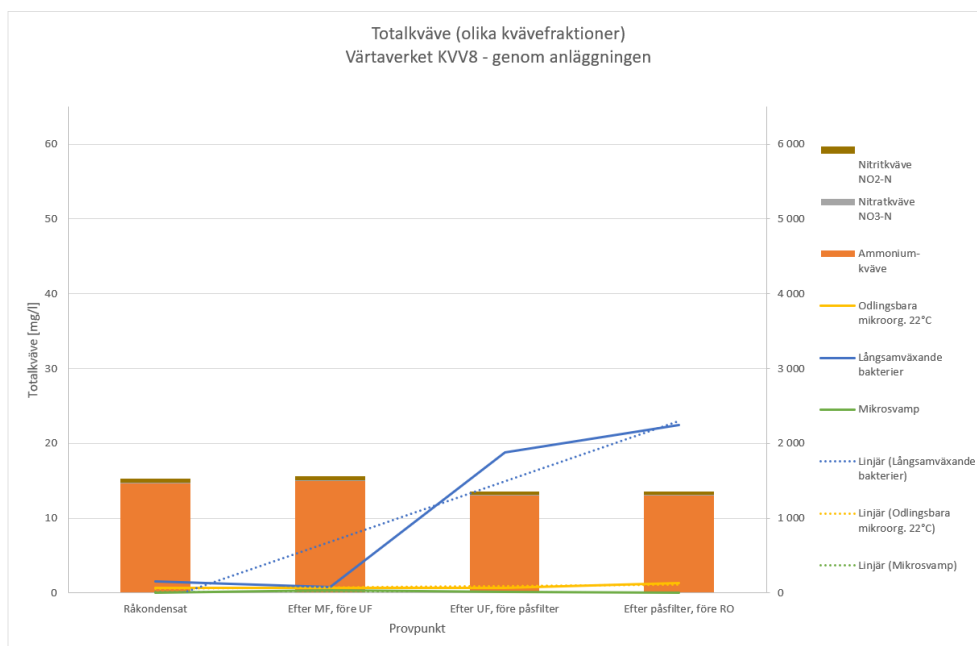
Figur 36. Totalkväve relaterat till mikroorganismer genom anläggningen för Brista 2.



Figur 37. Totalkväve relaterat till mikroorganismer genom anläggningen för Högdalen.



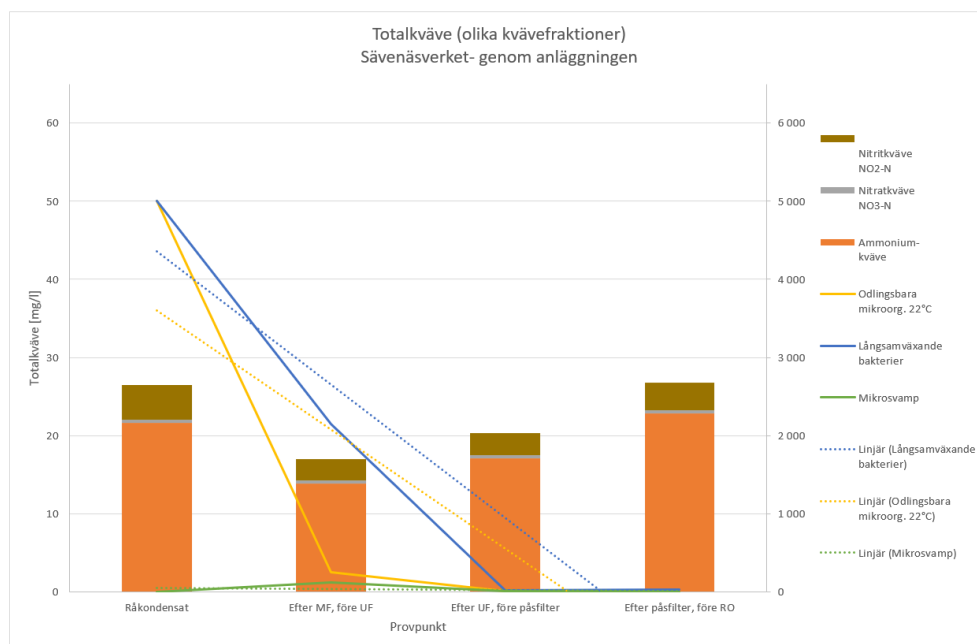
Figur 38. Totalkväve relaterat till mikroorganismer genom anläggningen för Igelsta.



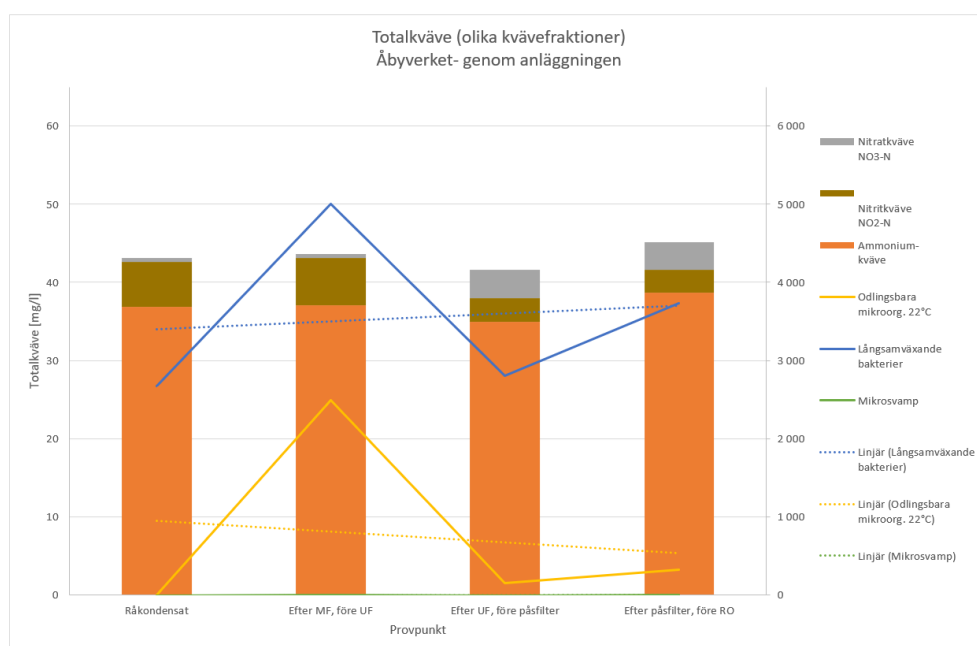
Figur 39. Totalkväve relaterat till mikroorganismer genom anläggningen för Värtaverket KVV8.



Figur 40. Totalkväve relaterat till mikroorganismer genom anläggningen för Strängnäs KVV.



Figur 41. Totalkväve relaterat till mikroorganismer genom anläggningen för Sävenäverket.

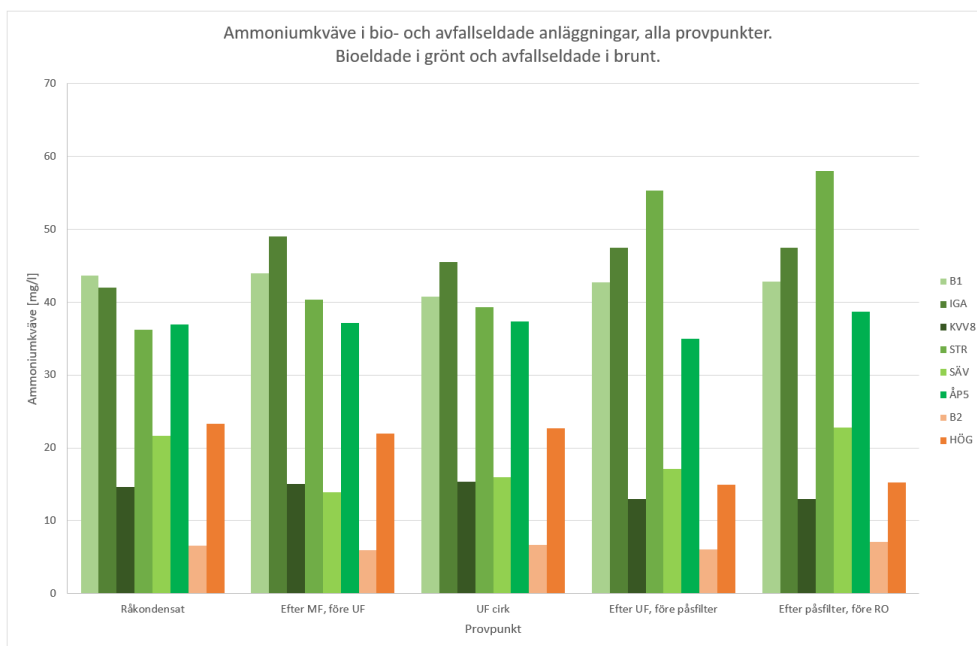


Figur 42. Totalkväve relaterat till mikroorganismer genom anläggningen för Åbyverket.

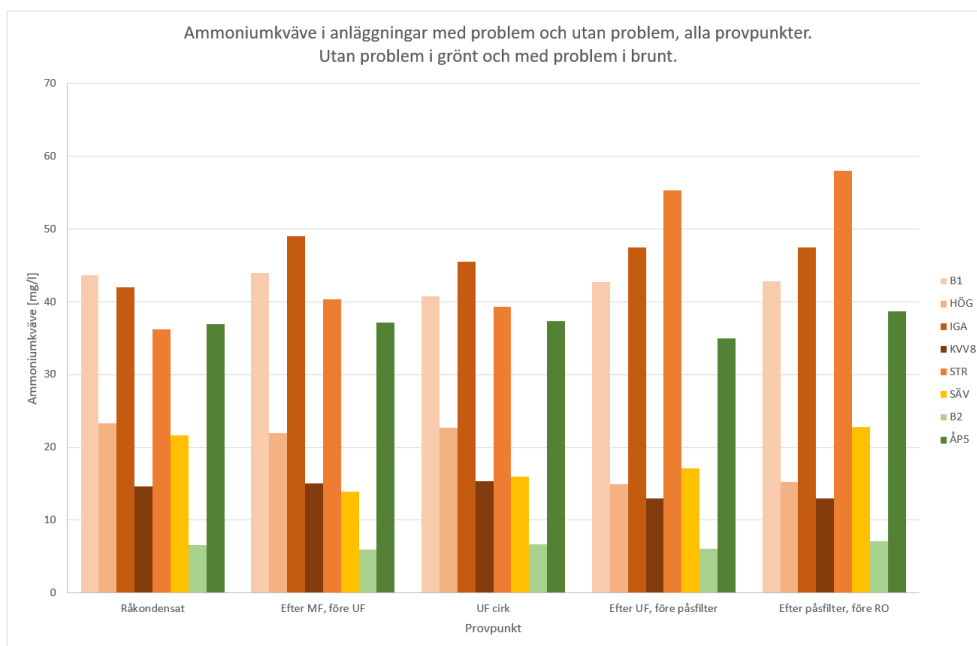
Det kan skönjas ett mönster avseende halten mikroorganismer, där de toppar efter mikrofiltret. Detta gäller för Brista 2 (påsfiler), Högdalen (skaksil), Igelsta (skaksil) och Åbyverket (skaksil).

För några andra anläggningar ökar halterna mikroorganismer genom vattenreningen. Detta gäller för Brista 1, KVV8 och Strängnäs. För Sävenäverket minskar halten mikroorganismer, men de har samtidigt de högsta halterna i råkondensatet av samtliga anläggningar.

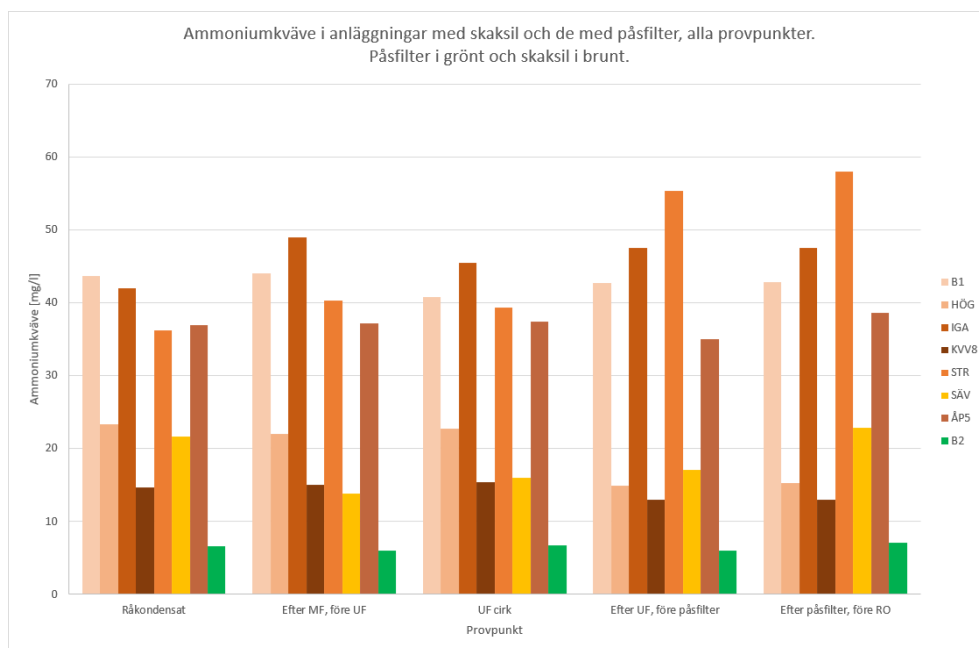
Halterna mikroorganismer kan inte korreleras mot halterna kväve i vattnet.



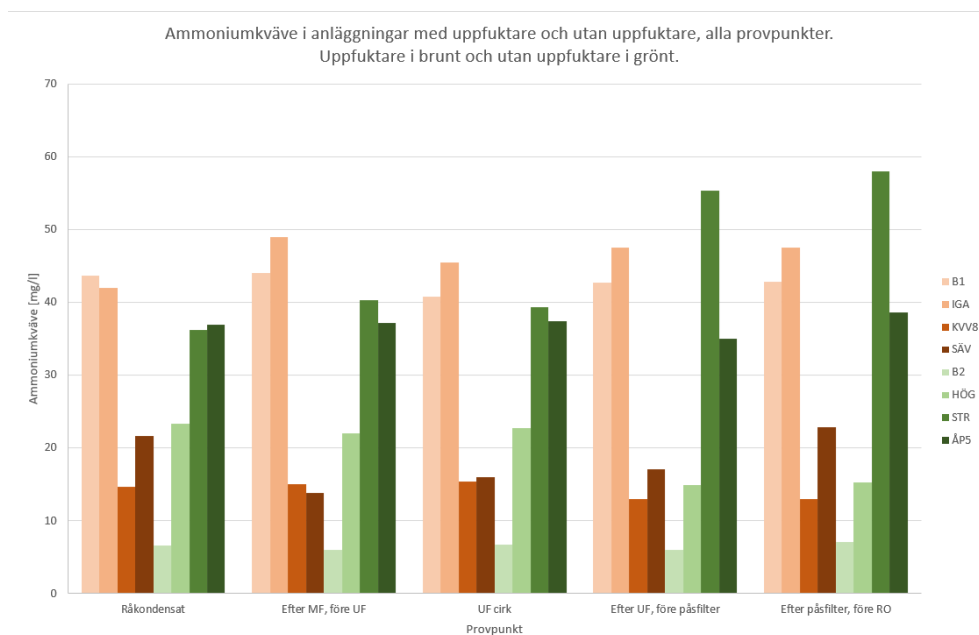
Figur 43. Ammoniumkväve i bio (gröna staplar) - och avfallseldade (bruna staplar) anläggningar.



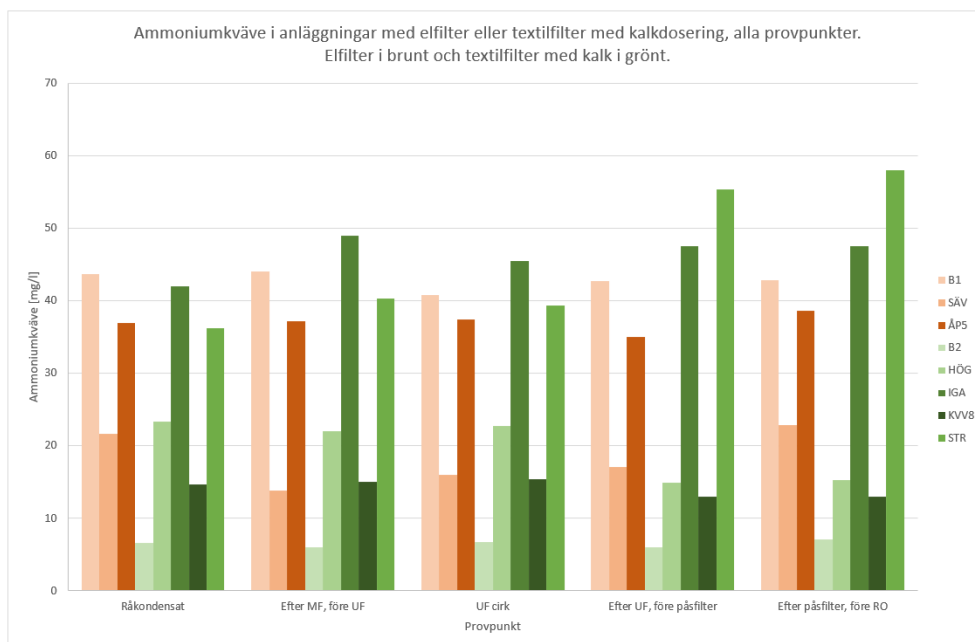
Figur 44. Ammoniumkväve i anläggningar med problem (gula- och bruna staplar) och utan problem (gröna staplar).



Figur 45. Ammoniumkväve i anläggningar med skaksil (gula- bruna staplar) och med påsfilter som MF (gröna staplar).



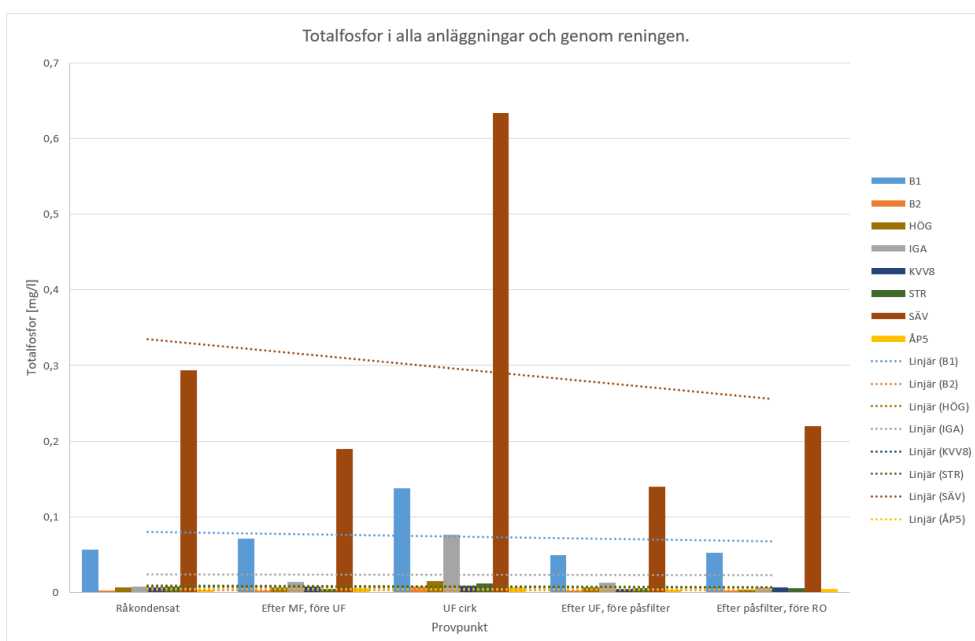
Figur 46. Ammoniumkväve i anläggningar med uppfuktare (bruna staplar) och utan uppfuktare (gröna staplar).



Figur 47. Ammoniumkväve i anläggningar med elfilter (bruna staplar) eller textfilter med kalkdosering (gröna staplar).

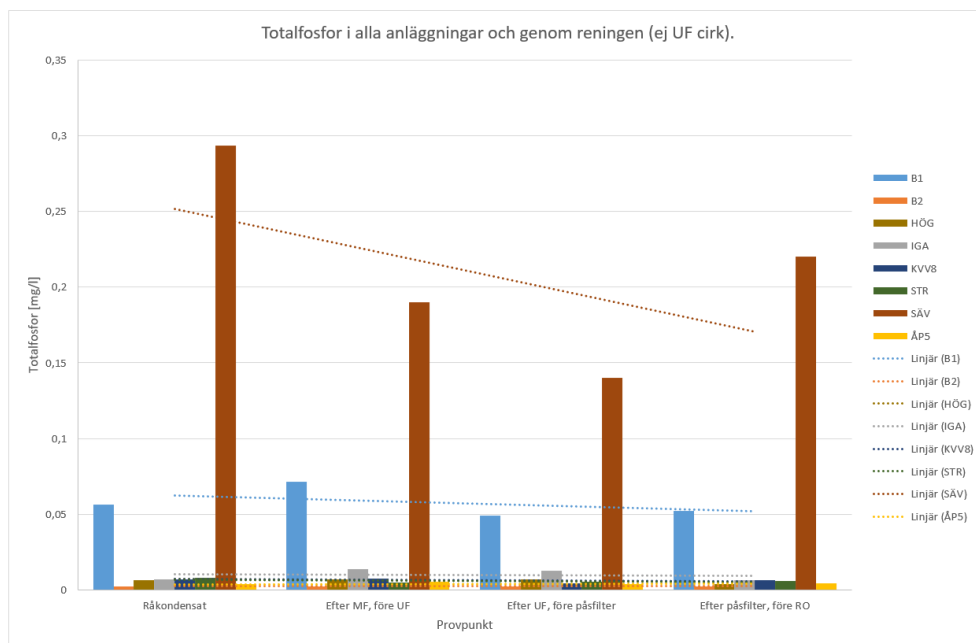
6.4 FOSFOR

Fosfor är liksom kväve ett näringsämne och dess förekomst gynnar mikrobiell tillväxt. I Figur 48 visas halten fosfor i samtliga anläggningar och i samtliga provpunkter. Resultaten visar att fosforhalten är försumbar i rökgaskondensatet och därför ingen parameter som bidrar till mikrobiell tillväxt i anläggningarna.



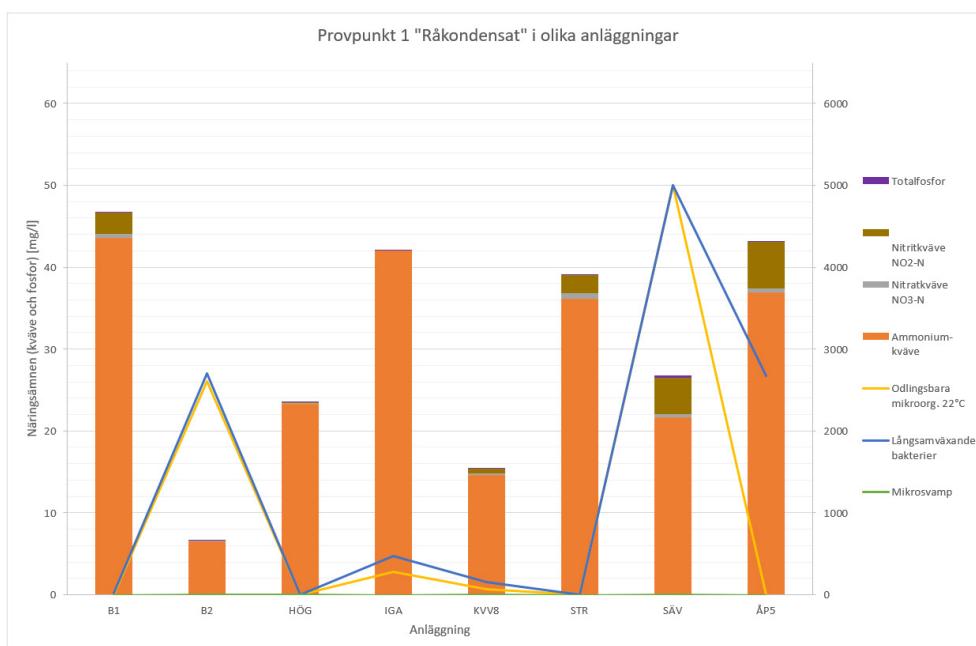
Figur 48. Förekomsten av fosfor i samtliga anläggningar och samtliga provpunkter.

Sävenäverket och Brista 1 har högre halter än övriga verk, men är fortfarande av marginell karaktär. I Figur 49 visas fosfor i alla provpunkter utom i UF cirk. undantagen

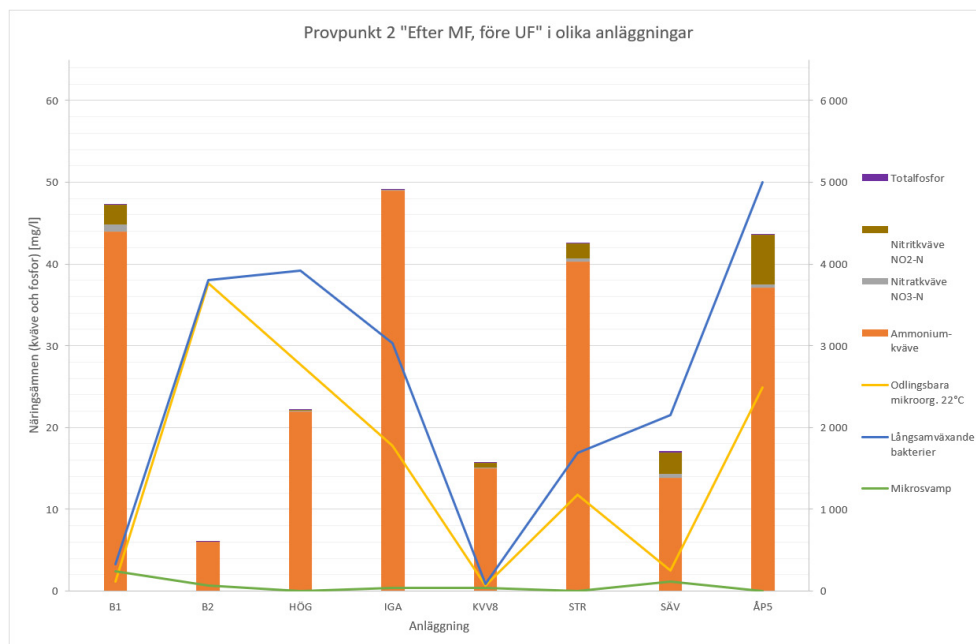


Figur 49. Fosfor i samtliga anläggningar och följande flödesriktningen för kondensatet (UF cirk. undantagen)

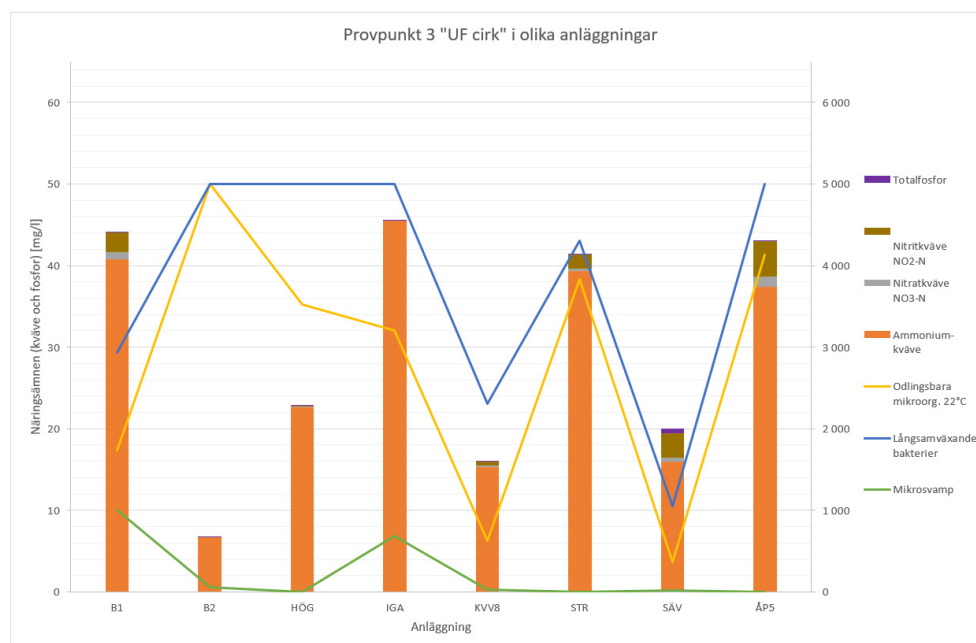
Figur 50 - Figur 54, visar både fosfor och kväve relaterat till halten mikroorganismer i kondensatet. Fosfor, nitrat och nitrit är marginella och försumbara jämfört med ammoniumkvävet.



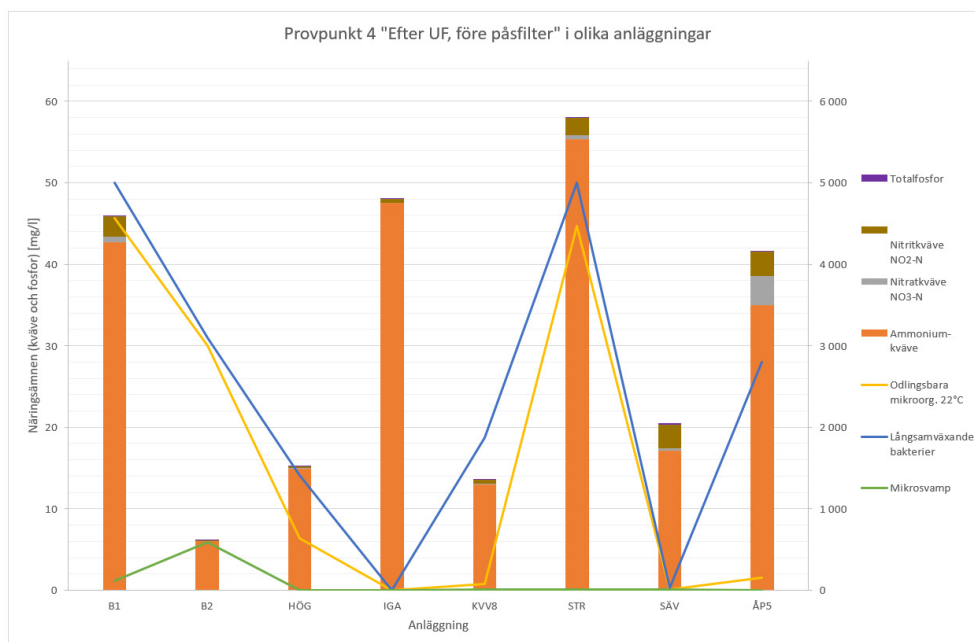
Figur 50. Näringsämnen relaterad till halten mikroorganismer i råkondensatet på samtliga anläggningar.



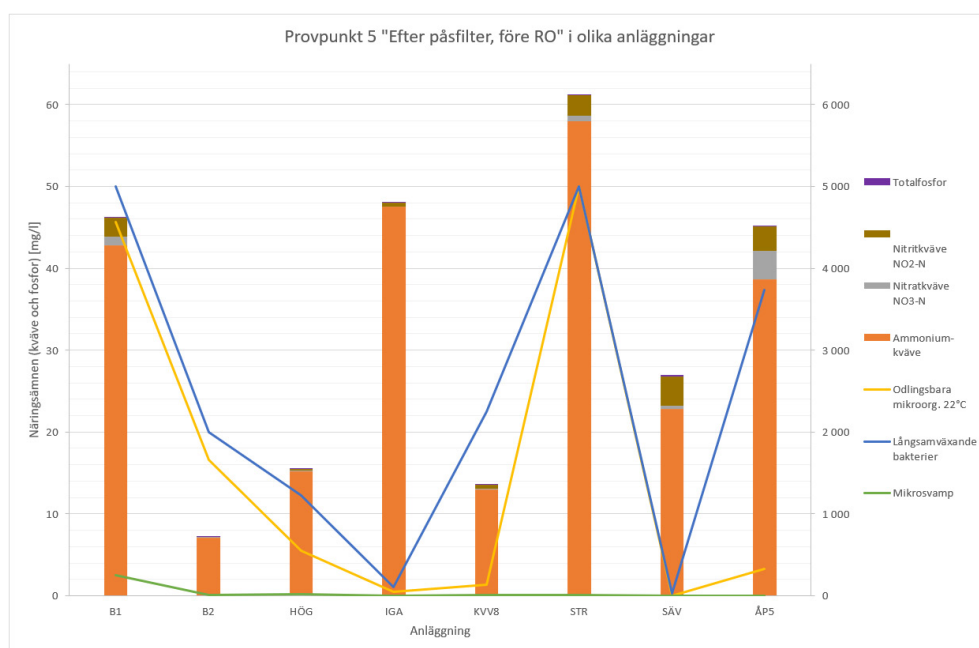
Figur 51. Näringsämnen relaterad till halten mikroorganismer i kondensatet efter MF och före UF på samtliga anläggningar.



Figur 52. Näringsämnen relaterad till halten mikroorganismer i UF cirk på samtliga anläggningar.



Figur 53. Näringsämnen relaterad till halten mikroorganismer i kondensatet efter UF och före påsfilter på samtliga anläggningar.



Figur 54. Näringsämnen relaterad till halten mikroorganismer i kondensatet efter påsfilter och före RO på samtliga anläggningar.

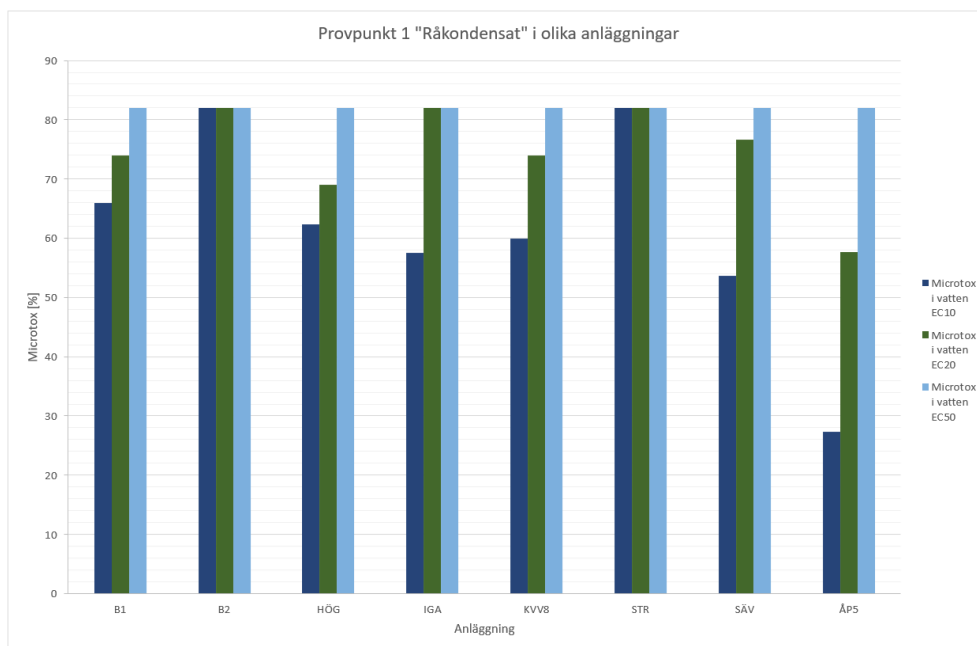
6.5 TOXICITET

Microtox är ett mått på hur giftigt vattnet är för levande organismer. Låga värden indikerar högre toxicitet.

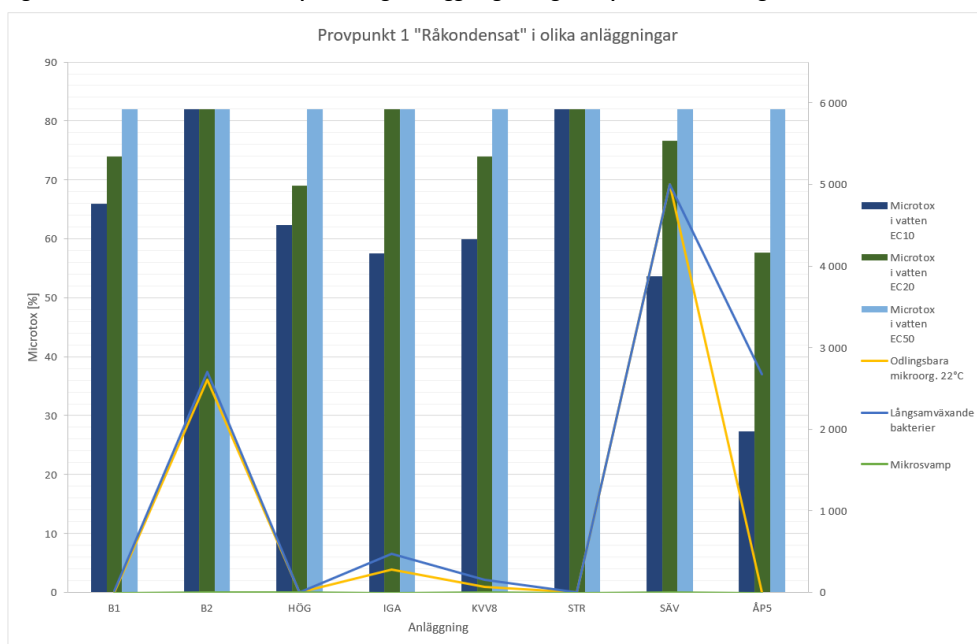
Microtox är ett akut toxicitetstest med den marina bakterien *Vibrio fischeri* som testorganism. Denna bakterie kan producera ljus, s.k. bioluminiscens. I testet mäts bakteriernas ljusproduktion då de utsätts för olika koncentrationer av provet. Genom att jämföra luminiscensen i närvaro respektive i frånvaro av provet får man ett mått på hur mycket bakterierna påverkas. Ljusproduktionen mäts i en spektrofotometer efter 5, 15 och 30 minuter. Resultatet redovisas som EC50 och EC20 (Effective Concentration) efter 5, 15 och 30 min. EC50 alternativt EC20-värdet anger den provkoncentration som medför 50% respektive 20% ljusminskning hos bakterierna. **Ju lägre EC50- respektive EC20-värdet är desto mer toxiskt är provet.** Bakteriernas optimum för ljusproduktion ligger mellan pH 6-8. Prov som ligger utanför intervallet pH-justeras. Grumliga prover sedimenteras alternativt filtreras. Starkt färgade prover färgkorrigeras för att undvika störning vid ljusmätningen.

Källa: Alcontrol

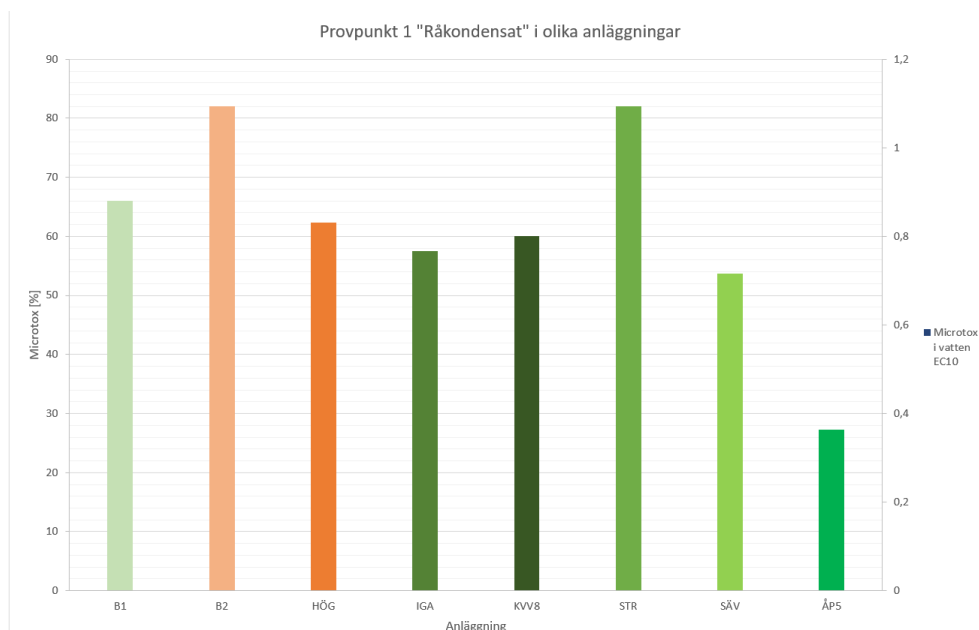
Analyser utfördes endast på råkondensat med syfte att undersöka om det fanns skillnader mellan avfalls- och biobränsleeldade anläggningar. Projektet hade en arbetshypotes att kondensat från avfallseldade anläggningar skulle vara giftigare än kondensat från biobränsleeldade och att det därför skulle kunna utgöra en orsak till varför vissa anläggningar inte upplevde problem med biologisk tillväxt. Råkondensat från avfallseldade anläggningar uppvisar inte högre toxicitet än biobränsleeldade varför hypotesen motbevisades. Förvånande var dock att Åbyverkets råkondensat visade sig vara mest giftigt, se Figur 55.



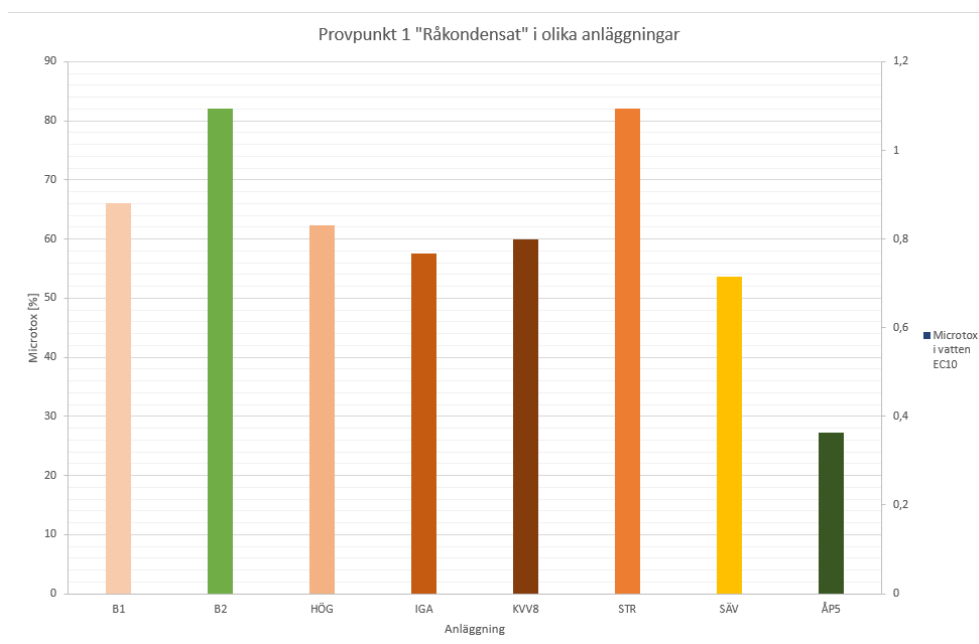
Figur 55. Microtox i råkondensat på samtliga anläggningar. Lägre staplar indikerar högre toxicitet



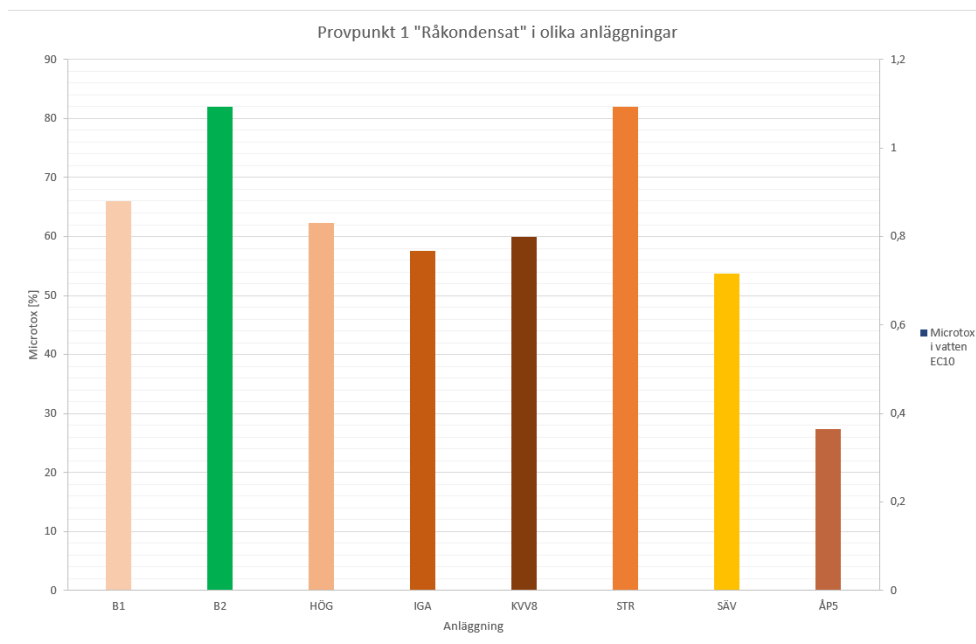
Figur 56. Toxicitet mätt med microtox relaterad till halten mikroorganismer i råkondensatet på samtliga anläggningar.



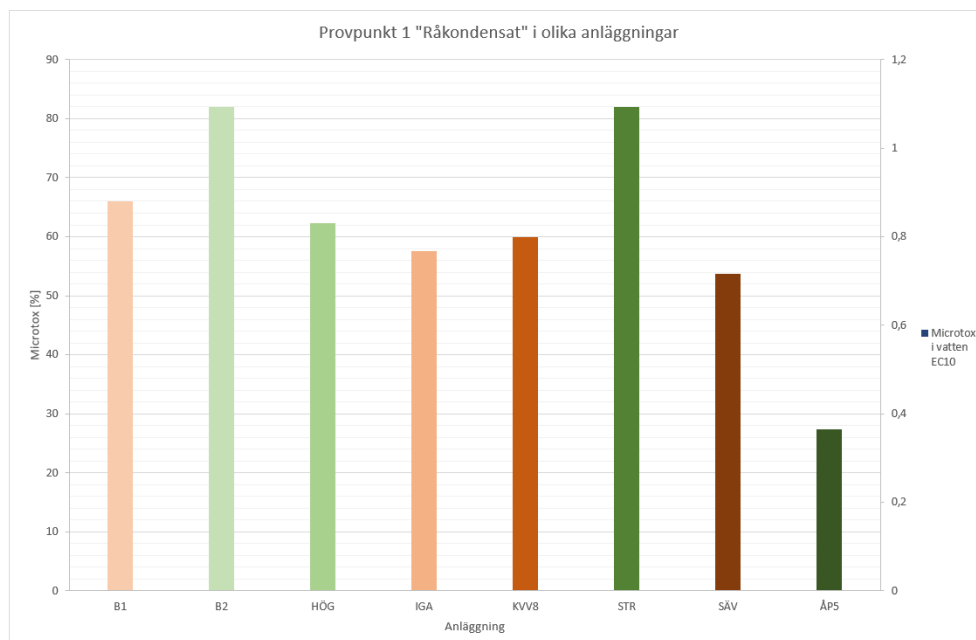
Figur 57. Toxicitet i bio- (gröna staplar) och avfallseldade anläggningar (bruna staplar). Bioeldade i grönt och avfallseldade i brunt. Ju lägre värde, desto giftigare vatten.



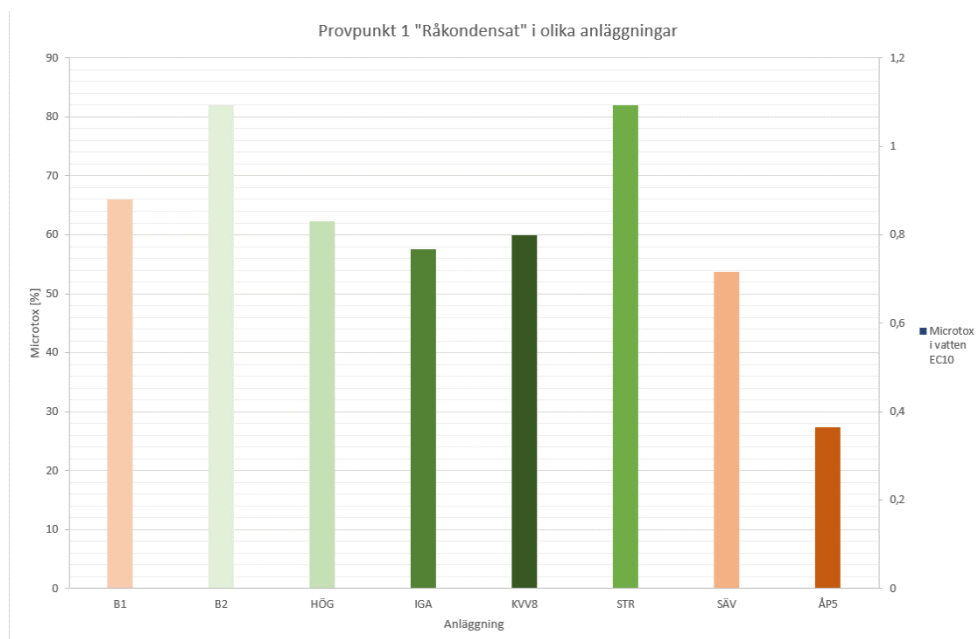
Figur 58. Toxicitet i anläggningar med upplevda problem (gula- och bruna staplar) och utan problem (gröna staplar).



Figur 59. Toxicitet i anläggningar med skaksil(gula- bruna staplar) och med päsfilter som MF (gröna staplar).



Figur 60. Toxicitet i anläggningar med uppfuktare (bruna staplar) och utan uppfuktare (gröna staplar).

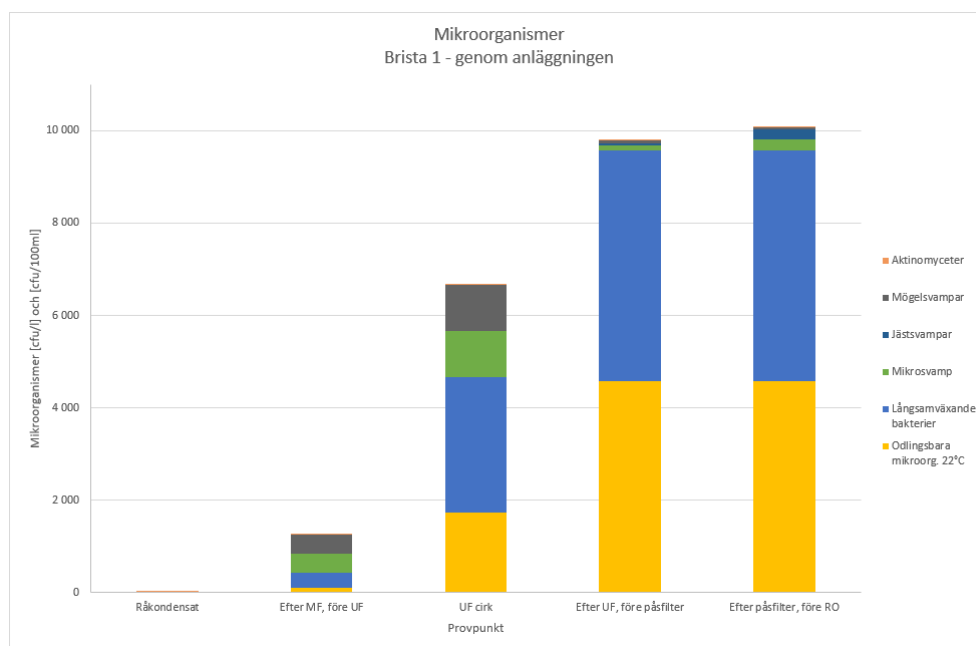


Figur 61. Toxicitet i anläggningar med elfilter (bruna staplar) eller textfilter med kalkdosering (gröna staplar).

6.6 MIKROORGANISMER

Halterna mikroorganismer i varje provpunkt är plottade i Figur 62 – Figur 66.

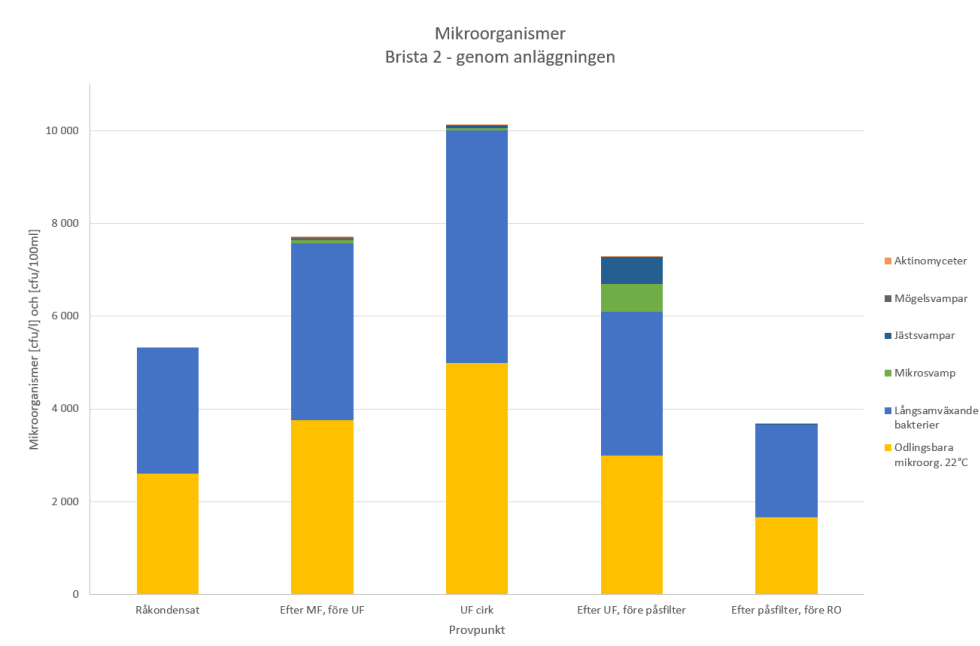
Brista 1 har relativt höga halter mögelsvampar efter MF och i UF cirk. Markant högre än övriga anläggningar, se Figur 62.



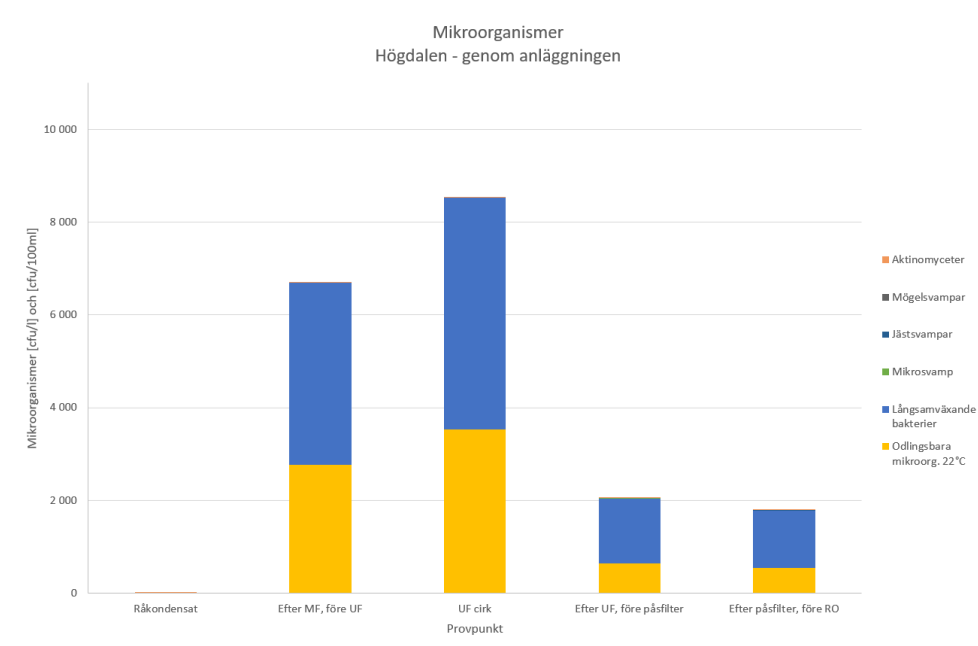
Figur 62. Halten mikroorganismer i samtliga provpunkter på Brista 1.

Halten av aktinomyceter, dvs. bakterier som bildar trådar och kan avge källarlukt är näst intill obefintlig på samtliga verk.

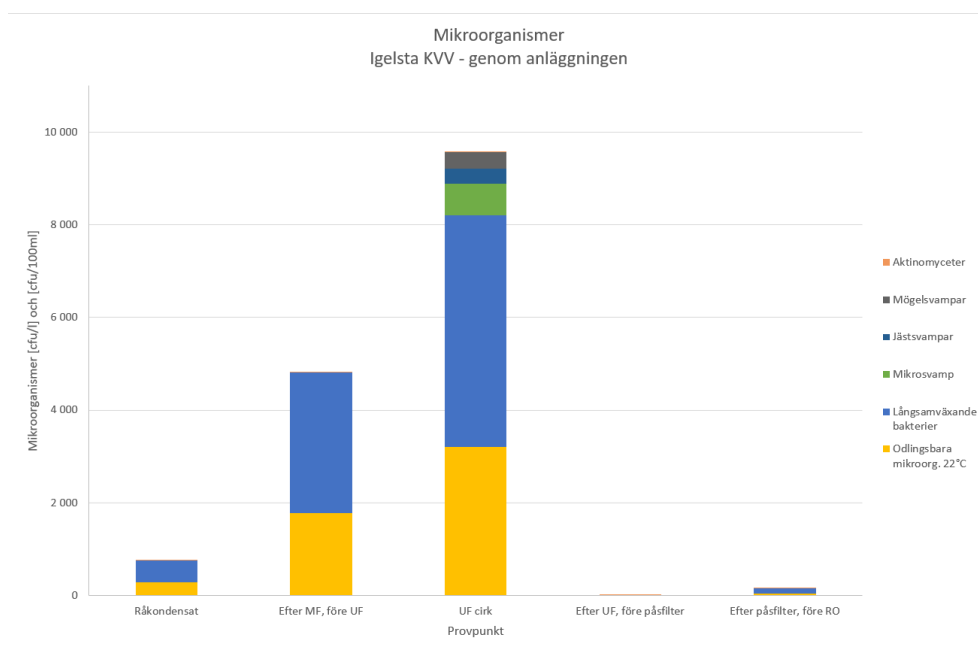
Halten mikroorganismer i råkondensatet på B2 uppvisar relativt höga värden, se Figur 63. Detta är lite förvånande eftersom Brista 2 uppger att de inte har några problem med biologisk tillväxt. Projektets arbetshypotes inför genomförandet var att de anläggningar som inte upplever några problem med biologisk tillväxt inte heller skulle ha några mikroorganismer i vattnet. Hypotesen stämmer inte och tyder på att andra faktorer spelar in.



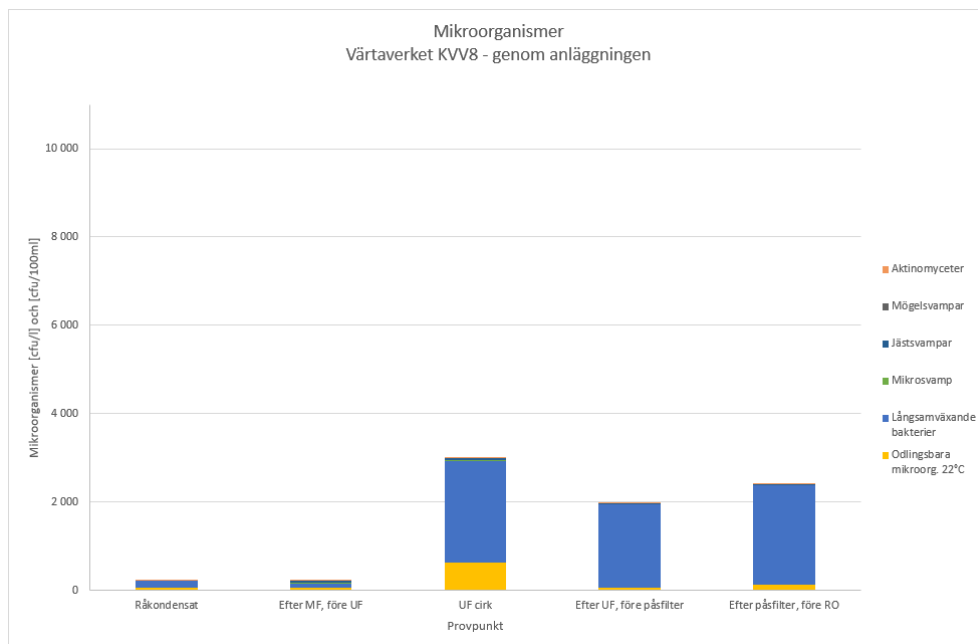
Figur 63. Halten mikroorganismer i alla provpunkter på Brista 2.



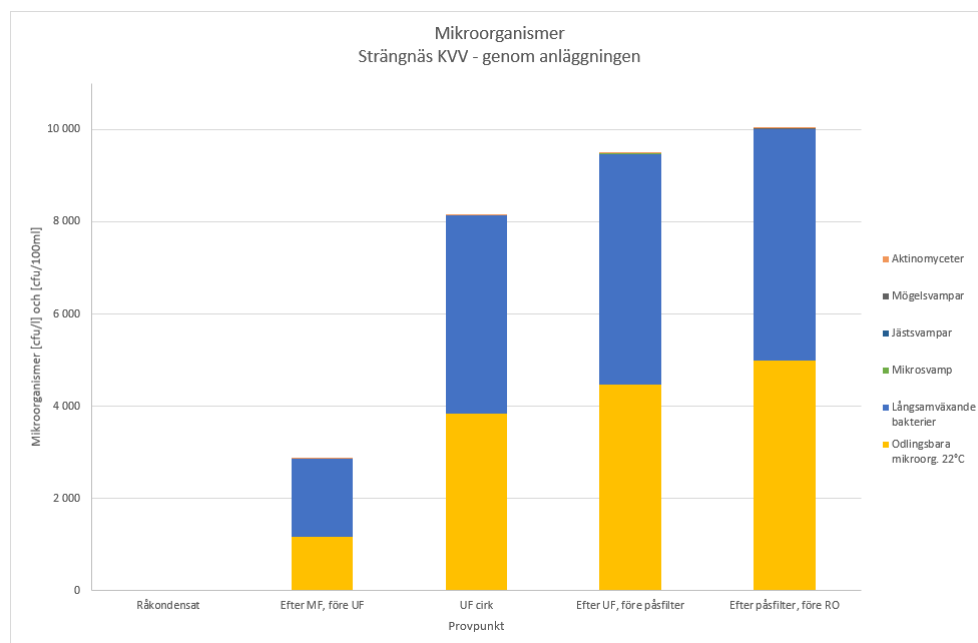
Figur 64. Halten mikroorganismer i alla provpunkter på Högdalenverket.



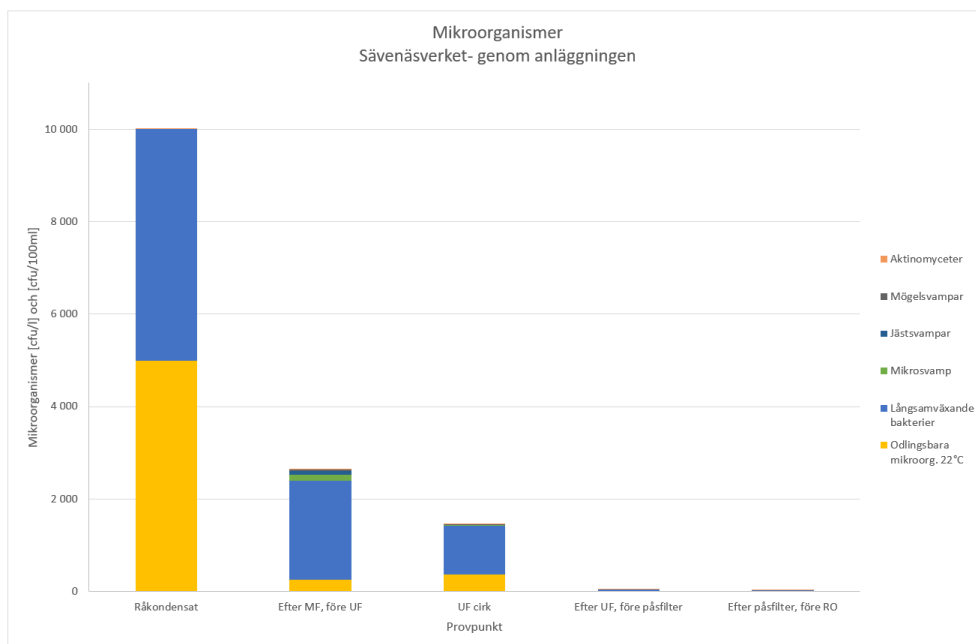
Figur 65. Halten mikroorganismer i alla provpunkter på Igelsta KVV.



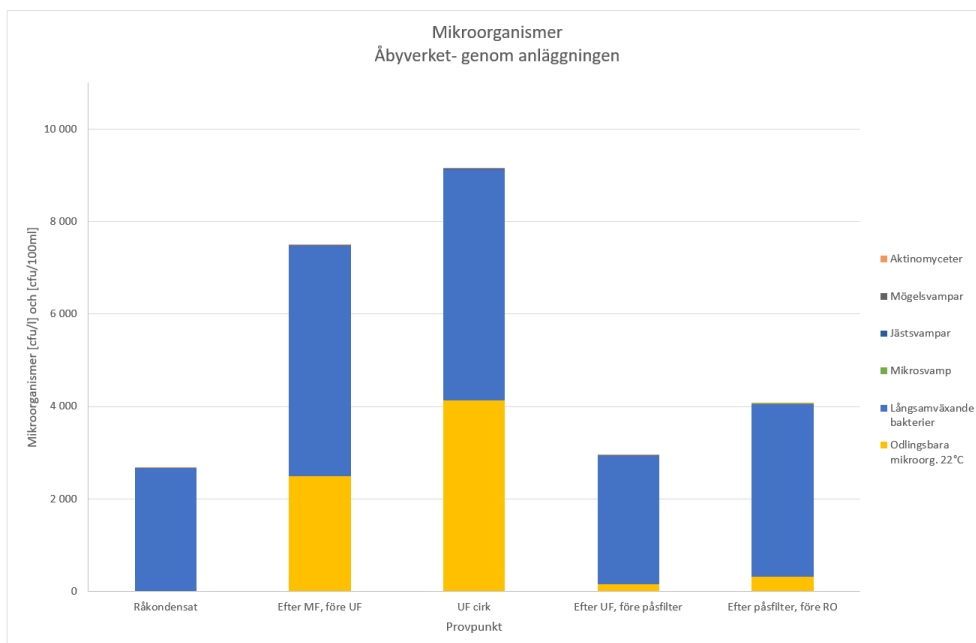
Figur 66. Halten mikroorganismer i alla provpunkter på Värtaverket KVV8.



Figur 67. Halten mikroorganismer i alla provpunkter på Strängnäs KVV.



Figur 68. Halten mikroorganismer i alla provpunkter på Säväsverket.



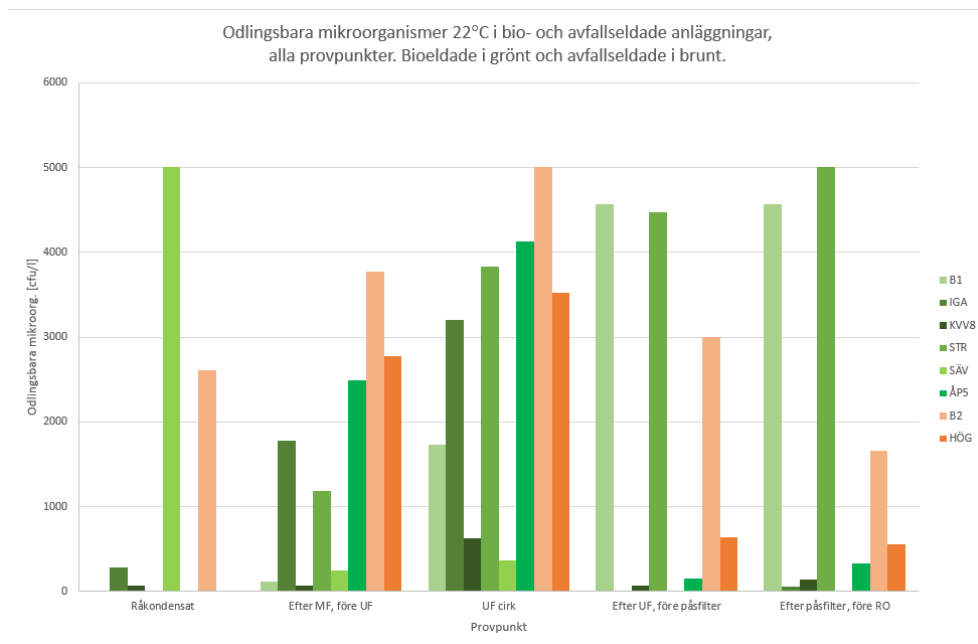
Figur 69. Halten mikroorganismer i alla provpunkter på Åbyverket.

Halten mikroorganismer är högre på några verk efter påsfilter före RO än i provpunkten före. Detta gäller för Brista 1, Igelsta, KVV8, Strängnäs och Åbyverket. Detta kan ha olika tänkbara orsaker:

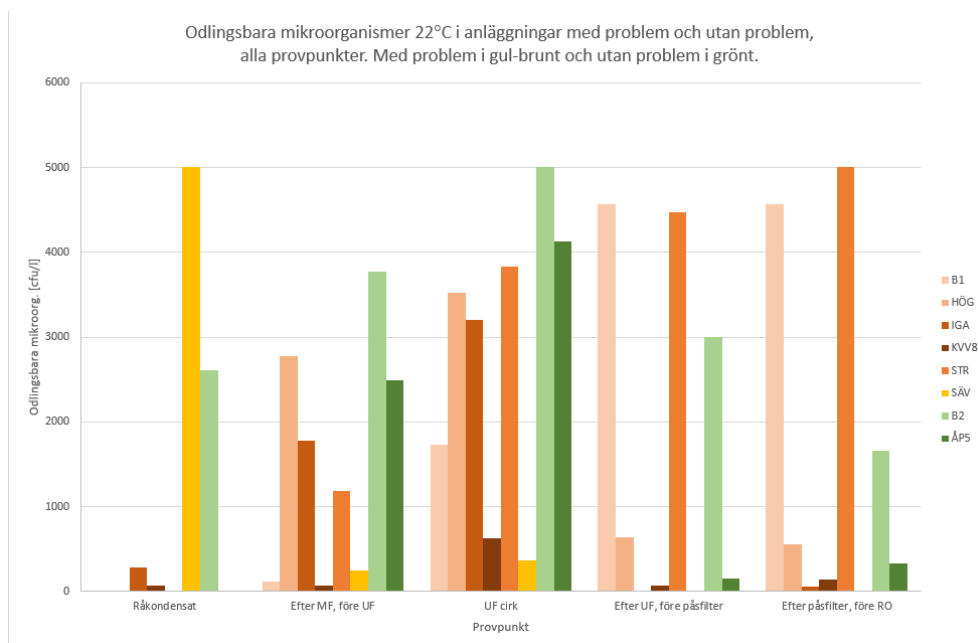
- Påsfiltren är parallellkopplade där ett står stand-by med en färdig, ren påse isatt. I väntan på att bli driftsatt, vilket kan ta upp till två månader, står det stilla med vatten i sig och utgör grogrund för bakterietillväxt.

- Sporer som tar sig igenom UF kan tillväxa i påsfiltren, där de får tid att utvecklas till bakteriekolonier.
- Kontaminering från luften. Luftburna bakterier tar sig in via svanhalsen till RO feedtank där det råder undertryck och får möjlighet att fästa på påsfiltret där de hinner växa till.
- Rosa – orangefärgade beläggningar är vanliga i påsfiltren på nästan alla anläggningar. Förutom biofilm av mikroorganismer så kan detta vara järn- och manganutfällningar. Ofta känns dessa som sträva beläggningar på påsfiltren. Även järnoxiderande bakterier kan ge rosa – orangefärgade beläggningar. Järnoxiderande bakterier kan även orsaka sträva beläggningar, som är en restprodukt från deras metabolism. Detta kan ibland ses i rören på reningsverk där man använder kemisk fällning med järnsulfat.

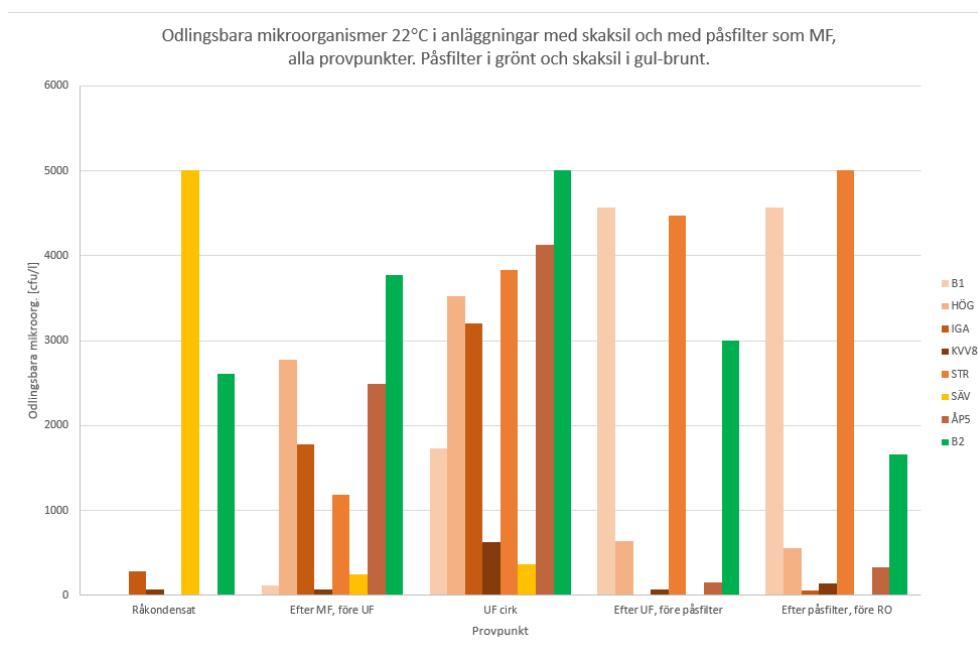
Alla ovanstående orsaker kan uppstå var och en för sig men också samverka och uppstå samtidigt.



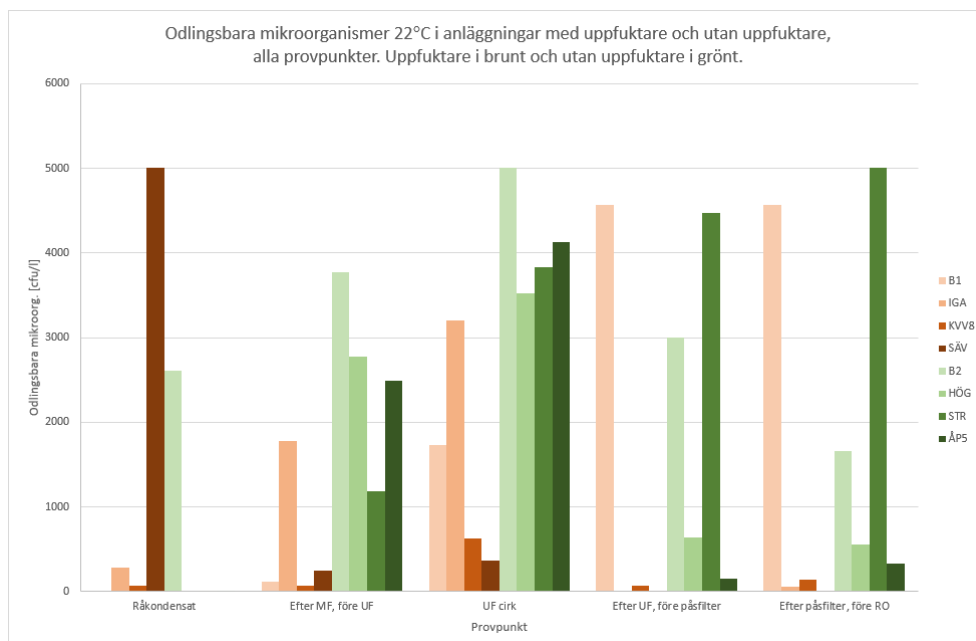
Figur 70. Odlingsbara mikroorganismer 22°C i bio- (gröna staplar) och avfallseldade anläggningar (bruna staplar).



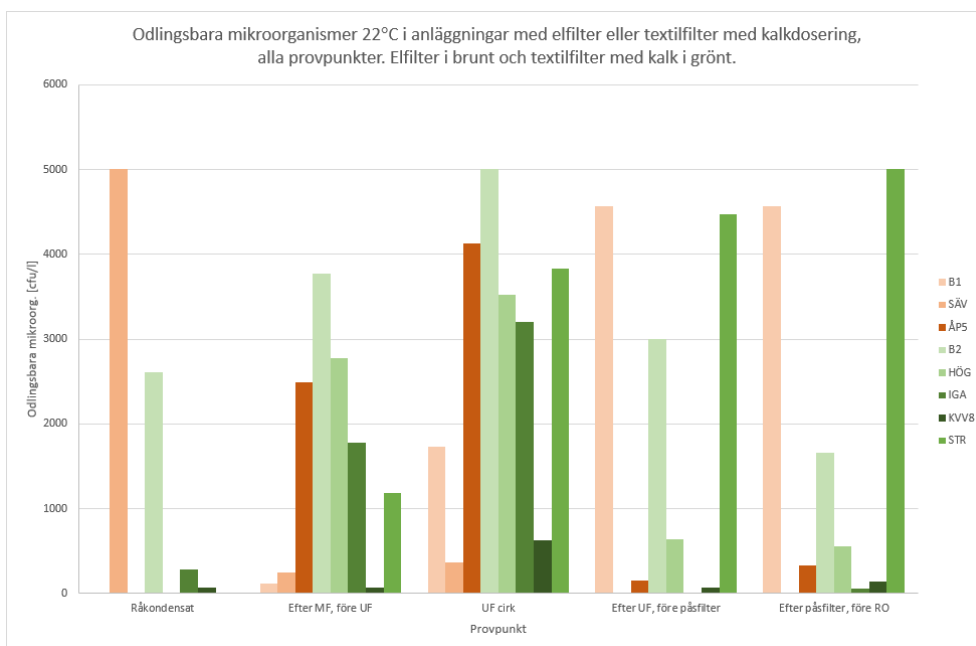
Figur 71. Odlingsbara mikroorganismer 22°C i anläggningar med problem (gula- bruna staplar) och utan problem (gröna staplar).



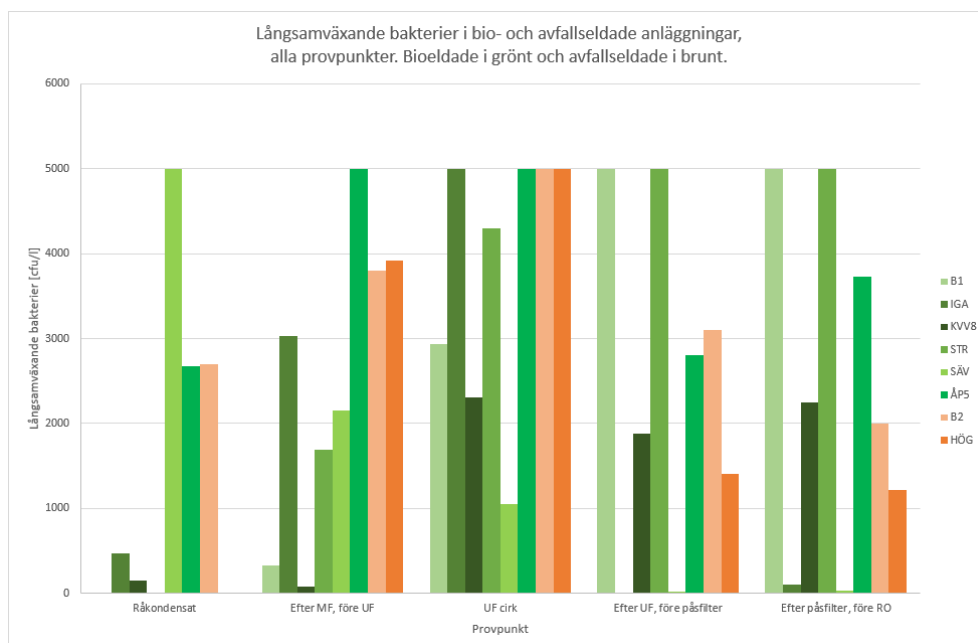
Figur 72. Odlingsbara mikroorganismer 22°C i anläggningar med skaksil (gula- och bruna staplar) och med påsfilter som MF (gröna staplar).



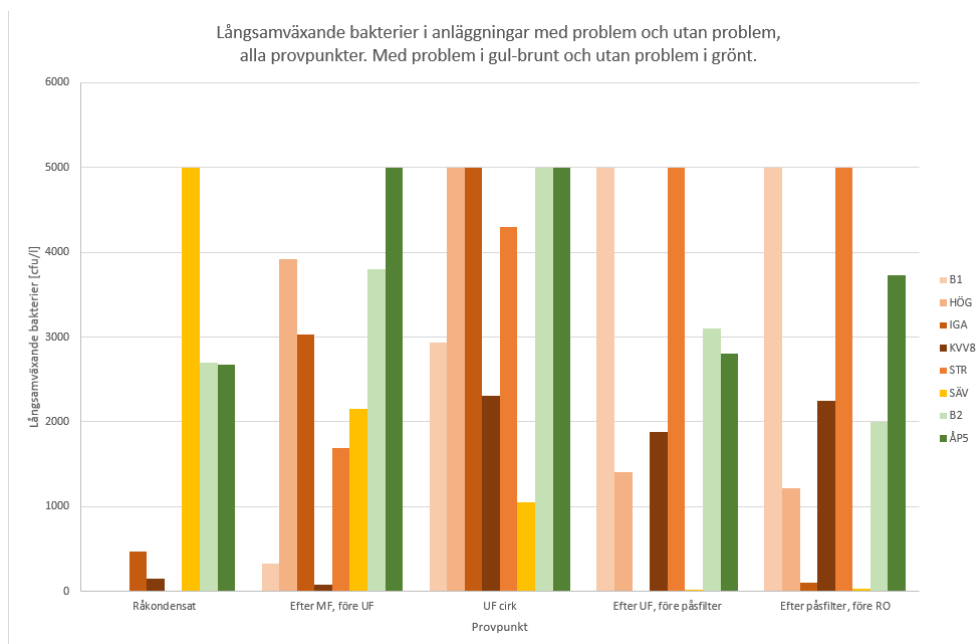
Figur 73. Odlingsbara mikroorganismer 22°C i anläggningar med uppfuktare (bruna staplar) och utan uppfuktare (gröna staplar).



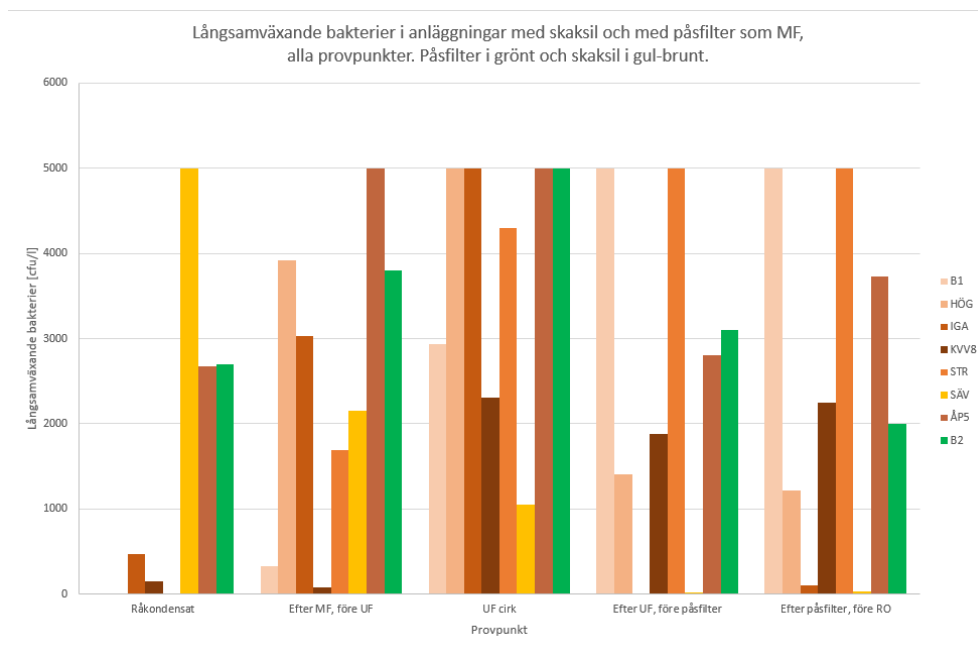
Figur 74. Odlingsbara mikroorganismer 22°C i anläggningar med elfilter (brunas staplar) eller textilfilter med kalkdosering (gröna staplar).



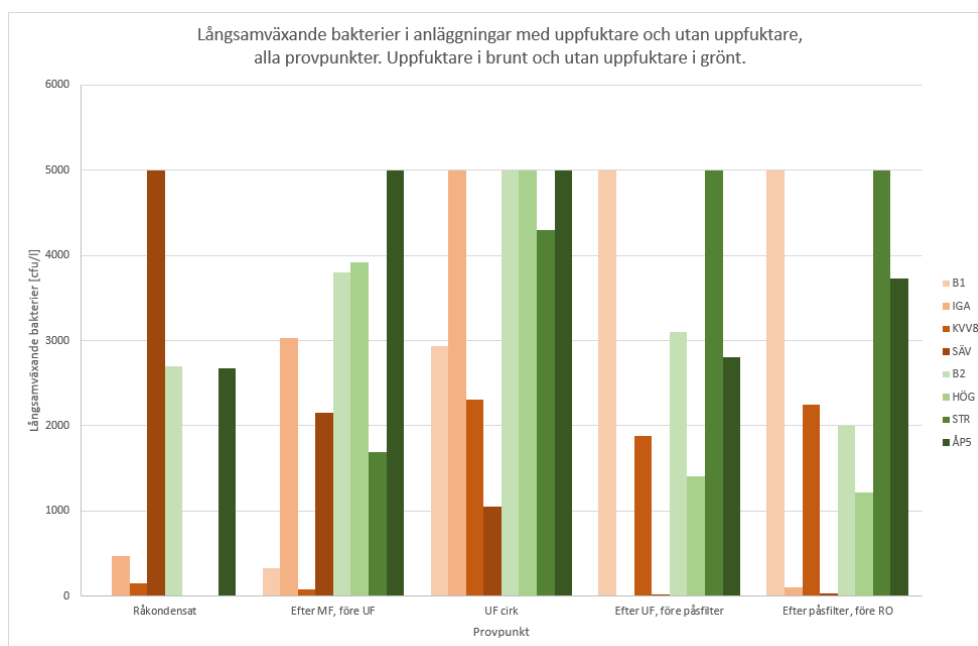
Figur 75. Långsamväxande bakterier i bio- (gröna staplar) och avfallseldade anläggningar (bruna staplar), alla provpunkter.



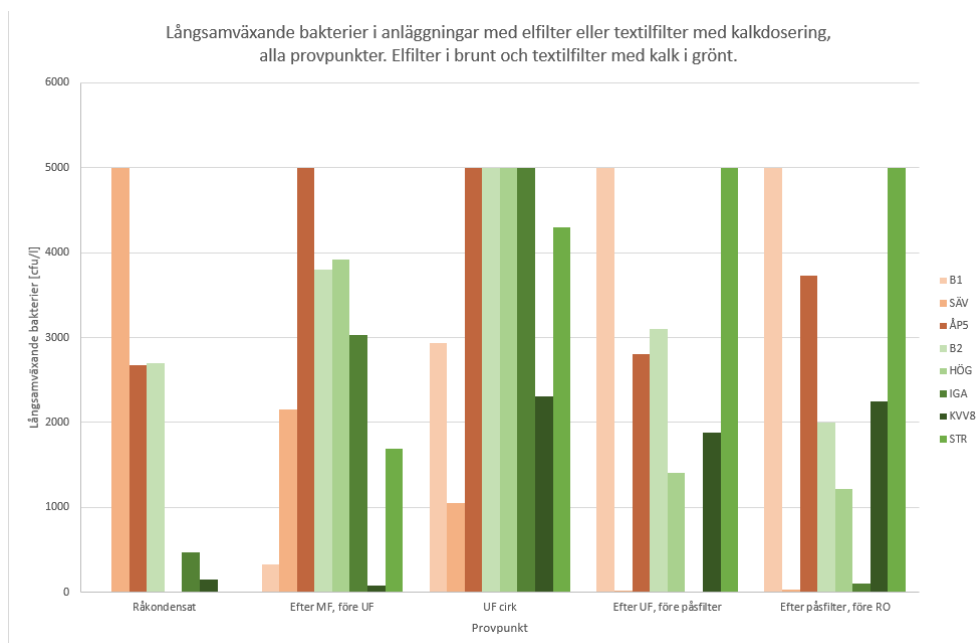
Figur 76. Långsamväxande bakterier i anläggningar med problem (gula – bruna staplar) och utan problem (gröna staplar).



Figur 77. Långsamväxande bakterier i anläggningar med skaksil (gula- bruna staplar) och med påsfilter som MF (gröna staplar).



Figur 78. Långsamväxande bakterier i anläggningar med uppfuktare (brunas staplar) och utan uppfuktare (gröna staplar).



Figur 79. Långsamväxande bakterier i anläggningar med elfilter (bruna staplar) eller textfilter med kalkdosering (gröna staplar).

6.7 DNA-ANALYSER

Genomförda DNA-analyser på samtliga testade verk redovisas i tabellform och avser de tre vanligaste bakterietyperna vid varje provpunkt för de olika anläggningarna. I vissa fall har provmängden varit otillräcklig för DNA-bestämning varför vissa provpunkter saknas på några anläggningar.

6.7.1 Brista 1

Proverna från Brista 1 visar ett stort antal mikroorganismer i de olika proverna från anläggningen. Provet före RO uppvisar 25 olika typer/släkten/arter av mikroorganismer. Provet från påsfiltret före RO uppvisar 47, och provet från påsfiltret före UF; 42 olika typer/släkten/arter av mikroorganismer.

Tabell 14. DNA-analyser för Brista 1. Tabellen visar de olika provpunkterna för anläggningen samt de tre vanligaste förekommande mikroorganismerna och procentuell andel.

Nr	Bakterie i provpunkt Före RO	Bakterie i provpunkt Påsfilt	Bakterie i provpunkt före UF
1	Burkholderiaceae (55%)	Hyphomicrobium spec (33%)	Burkholderiaceae (24%)
2	Hyphomicrobium spec. (12%)	Burkholderiaceae (13%)	Janthinobacterium sp. S139 (21%)
3	Bradyrhizobiaceae (7%)	Methylobacterium spec (6%)	Massilia sp. CFH S0397 (10%)

6.7.2 Brista 2

Provet före UF uppvisar 17 olika typer/släkten/arter av mikroorganismer och provpunkten före RO uppvisar 26 stycken.

Tabell 15. DNA-analyser för Brista 2. Tabellen visar de olika provpunkterna för anläggningen Brista 2 samt de tre vanligaste förekommande mikroorganismerna och procentuell andel.

Nr	Bakterie i provpunkt före UF	Bakterie i provpunkt Påfilter
1	Meiothermus spec. (83%)	Meiothermus spec. (32%)
2	Hydrotalea sp. PL22 (5%)	Sediminibacterium spec. (29%)
3	Granulicella cerasi (4%)	Sediminibacterium salmoneum (16%)

6.7.3 Högdalenverket

Provet från påsfiltret på Högdalenverket före UF uppvisar 55 olika typer/släkten/arter av mikroorganismer, provet från locket på påsfiltret före RO uppvisar 36 stycken och provet från påsfiltret före RO uppvisar 34 stycken.

Tabell 16. DNA-analyser för Högdalenverket. Tabellen visar de olika provpunkterna för anläggningen samt de tre vanligaste förekommande mikroorganismerna och procentuell andel.

Nr	Bakterie i provpunkt Påfilter före UF	Bakterie i provpunkt Lock påfilter	Bakterie i provpunkt före UF
1	Stenotrophobacter roseus (11%)	Meiothermus granaticus (22%)	Meiothermus granaticus (31%)
2	Bradyrhizobiaceae (10%)	Meiothermus spec. (20%)	Meiothermus spec. (18%)
3	Methylobacterium spec (7%)	Rhizobiales (10%)	Rhizobiales (10%)

6.7.4 Igelsta KVV

Provet från Igelsta KVV provpunkt 6 uppvisar 30 olika typer/släkten/arter av mikroorganismer, provpunkt 7 16 stycken.

Tabell 17. DNA-analyser för Igelsta KVV. Tabellen visar de olika provpunkterna för anläggningen samt de tre vanligaste förekommande mikroorganismerna och procentuell andel.

Nr	Bakterie i provpunkt 6	Bakterie i provpunkt 7
1	Thiomonas spec. (28%)	Burkholderia spec. (64%)
2	Thermomonas sp. ROi19 (20%)	Comamonadaceae (7%)
3	Thermomonas sp. lyso-lm521 (9%)	Sphingomonas spec. (6%)

6.7.5 Värtaverket KVV8

Provet från påsfiltret (provpunkt 7) på Värtaverket uppvisar 28 olika, provpunkt 8 19 stycken och provpunkt skaksil 73 olika typer/släkten/arter av mikroorganismer.

Tabell 18. DNA-analyser för Värtaverket KVV 8. Tabellen visar de olika provpunkterna för anläggningen samt de tre vanligaste förekommande mikroorganismerna och procentuell andel.

Nr	Bakterie i provpunkt 7 påsfilter	Bakterie i provpunkt 8 påsfilter	Bakterie i provpunkt Från skaksil
1	Bradyrhizobiaceae (43%)	Bradyrhizobiaceae (52%)	Pelomonas spec. (10%)
2	Afipia genosp. 6 (25%)	Afipia genosp. 6 (29%)	Acidovorax spec. (9%)
3	Novosphingobium spec. (7%)	Novosphingobium spec. (8%)	Flavobacterium sp. P-131 (6%)

6.7.6 Strängnäs KVV

Provet från provpunkt 6 och 8 på Strängnäs KVV uppvisar 36 respektive 37 olika typer/släkten/arter av mikroorganismer. Från provpunkt 7 kunde inget resultat fås.

Tabell 19. DNA-analyser för Strängnäs KVV. Tabellen visar de olika provpunkterna för anläggningen samt de tre vanligaste förekommande mikroorganismerna och procentuell andel.

Nr	Bakterie i provpunkt 6	Bakterie i provpunkt 7	Bakterie i provpunkt Från skaksil
1	Tepidimonas aquatica (40%)	Ej resultat	Acidovorax spec. (53%)
2	Acidovorax spec. (12%)	Ej resultat	Pelomonas spec. (10%)
3	Chryseobacterium koreense (10%)	Ej resultat	Flavobacterium spec. (9%)

6.7.7 Sävenäverket

Provet från provpunkterna 6, 7 och 8 på Sävenäverket uppvisar 57, 94 respektive 33 olika typer/släkten/arter av mikroorganismer.

Tabell 20. DNA-analyser för Sävenäverket. Tabellen visar de olika provpunkterna för anläggningen samt de tre vanligaste förekommande mikroorganismerna och procentuell andel.

Nr	Bakterie i provpunkt 6	Bakterie i provpunkt 7	Bakterie i provpunkt Från skaksil
1	Nocardia spec. (29%)	Pseudoxanthomonas spec. (8%)	Meiothermus spec. (53%)
2	Candidatus Tenderia electrophaga (10%)	Nitrospira sp. (7%)	Denitratisoma oestradiolicum (8%)
3	Ideonella sp. NS1203 (6%)	Nitrospira spec. (7%)	Gemmatimonas aurantiaca (6%)

6.7.8 Åbyverket

Provet från provpunkt 6, 7 och 8 på Åbyverket uppvisar 37, 59 respektive 48 olika typer/släkten/arter av mikroorganismer.

Tabell 21. DNA-analyser för Åbyverket. Tabellen visar de olika provpunkterna för anläggningen samt de tre vanligaste förekommande mikroorganismerna och procentuell andel.

Nr	Bakterie i provpunkt 6	Bakterie i provpunkt 7	Bakterie i provpunkt 8
1	Nitrospira spec. (10%)	Nocardia spec. (9%)	Acidovorax spec. (10%)
2	Proteobacteria (9%)	Bradyrhizobiaceae (7%)	Nitrospira spec. (8%)
3	Acidovorax spec. (8%)	Phenylobacterium spec. (7%)	Proteobacteria (8%)

6.7.9 Sammanställning DNA resultat

De vanligaste mikroorganismerna visas i Tabell 22. Dessa finns med i mer än hälften av analysresultaten. Det betyder inte att de finns i stora mängder, utan bara att de finns närvarande i de allra flesta provpunkter där DNA-analyser har gjorts.

Ingen hänsyn tas här till inbördes ordning, släktskap etc., utan resultatet från analysrapporterna listas rakt upp och ner.

Tabell 22. De vanligaste mikroorganismerna.

Mikroorganism	Antal provtagningsplatser som mikroorganismen finns representerad på	Typ av Mikroorganism
Bradyrhizobium spec.	18	Bakterie
Bradyrhizobiaceae	16	Bakterie
Rhizobiales	15	Bakterie
Meiothermus spec.	12	Bakterie
Proteobacteria	12	Bakterie
Ralstonia spec.	12	Bakterie
Sphingomonadaceae	12	Bakterie
Chitinophagaceae	11	Bakterie
Hyphomicrobium spec.	11	Bakterie
Methylobacterium spec	11	Bakterie
Sediminibacterium spec.	11	Bakterie
Acidovorax spec.	10	Bakterie
Comamonadaceae	10	Bakterie
Sphingomonas spec.	10	Bakterie

De mikroorganismer som är representerade i störst mängd i alla provpunkter samt förekommer i de flesta provpunkter är samtliga; bakterier. Inga andra typer av mikroorganismer, såsom arkéer, protozoer, svampar, alger eller djur finns representerade i proverna.

7 Diskussion

Projektets övergripande syfte har varit att identifiera rotorsaken till uppkomsten av biologisk tillväxt i rökgaskondensatreningssystem och därmed skapa förutsättningar för att konstruera bort, eller med andra metoder minska eller eliminera problemen.

Biologisk tillväxt eller biofouling innefattar ett brett spektrum av biologiskt material: *“Biofouling or biological fouling is the accumulation of microorganisms, plants, algae, or animals on wetted surfaces. Since biofouling can occur almost anywhere water is present, biofouling poses risks to a wide variety of objects such as medical devices and membranes, as well as to entire industries, such as paper manufacturing, food processing, underwater construction, and desalination plants.”* Källa: Wikipedia

Biologisk tillväxt gynnas av tillgång på vatten, energi, kol och näringsämnen. Detta, inklusive gynnsamma temperaturer och tillväxtplatser, finns i anläggningarnas rökgaskondensatreningar. Därtill finns mikroorganismer som klarar att leva och reproducera sig i de mest extrema miljöer tänkbara, med betydligt värre levnadsvillkor än rökgaskondensat. Att det uppstår någon form av biologisk påväxt i kondensatvattenreningar måste därför anses vara naturligt förekommande. Att samtliga testade anläggningar har bakterietillväxt oavsett om de upplever problem eller inte, får anses bekräfta detta.

Rökgaskondensatet är alltså en idealisk miljö för mikrobiell tillväxt, då vattnet har en angenäm temperatur på 25 – 40°C och passerar olika filtersteg som erbjuder skyddade ytor att växa på, t ex påsfilter före RO, som uppvisar en förhöjd bakteriehalt trots att vattnet just har passerat UF vars syfte är att avskilja bland annat bakterier. Troligen kommer bakterierna in via RO feedtank, speciellt om den fungerar som en kombinerad backspoltank till UF. Tanken är öppen mot atmosfär och bakterier kan smita in med luften och tillväxa i påsfiltret. Särskilt stor är risken för påväxt då anläggningen har två redundanta påsfilter, där det ena står avställt men i beredskap med påse i och fyllt med vatten. På en del anläggningar kan påsfiltret bli stående på detta sätt i ett par månader i väntan på att tas i drift. När det sedan sker är filtret redan rejält angripet av mikrobiell tillväxt.

Vad som upplevs som problem eller inte i en anläggning är i många fall en subjektiv bedömning kopplad till tillgängliga resurser. En viktig del i projektarbetet har varit att försöka utröna hur stor del av ett upplevt problem (eller ett upplevt icke-problem) som härrör från anläggningarnas egna subjektiva bedömningar. Det framkommer att kemipersonalen, ofta en eller två personer, många gånger axlar hela ansvaret för anläggningens vattenprocesser själva.

Vattenkvaliteten är av fundamental vikt för vatten- och ångcykeln i en kraftvärmeanläggning. Anläggningarna producerar sitt eget spädvatten till både MAVA och till fjärrvärmenätet och har historiskt använt stadsvatten som råvattenkälla och släppt ut rökgaskondensatet tillbaka till recipient. Kraven på att ta om hand och återanvända sitt eget avloppsvatten ökar samtidigt som fler anläggningar ser miljövinster med ett slutet vattenkretslopp. Detta ökar i sin tur kraven på att vattenreningarna fungerar tillfredsställande. När den dagliga driften

av vattenreningarna inte fungerar så blir situationen snabbt ohållbar för en ensam kemist att hantera och åtgärda. Saknas tillräcklig utrustning för att hantera mikrobiell tillväxt på en ny anläggning, är det mycket svårt att hålla upp vattenkvalité och genomflöde. När bakterierna väl får fäste är de väldigt svåra att bli kvitt. Det har under projektets gång visat sig att anläggningar med höga utsläppskrav i kombination med hög frekvens på rapportering av utsläpp till myndigheter, samt kort med personalresurser, upplever större problem med bakterietillväxt och igensättningar.

De svårtolkade resultaten från genomförda analyser under projektet indikerar att problematiken med mikrobiell tillväxt utgörs av en kombination av flera subjektiva bedömningar kopplade till anläggningens reningskapacitet. Vattenkvaliteten vid eventuell återanvändning av rökgaskondensat som råvatten för spädvattenberedning är viktig och komplicerar processen ytterligare.

Med hjälp av bra provuttag kan en anläggning använda sig av de enkla, men effektiva, dipslides. Dessa kan analyseras på verket och man behöver inte göra kostsamma externa analyser. En regelbunden uppföljning av bakteriehalter med dipslides samt möjlighet att dosera en biocid (t ex natriumhypoklorit) till lagom nivå, vilket säkerställs med klormätning, samt UV som basutrustning bör vara grundkrav för en rökgaskondensatrening med membranteknik. Med hjälp av det klarar man svängningar i rökgasreningen (el- eller textilfilter) före kondensorn samt i ev. uppfuktare.

Grundläggande är också att rökgasreningen före kondensorn är tillräckligt effektiv. Felaktigheter i filtret medför större partikelbelastning på förfiltreringen före RO med konsekvenser som att påsarna i påsfiltren måste bytas oftare, att skaksilarnas sildukar går sönder och att UF-membranen börjar läcka. Marginaler för att anläggningen därtill ska klara en normal beläggning av biologisk påväxt minskar i förekommande fall. Att övervaka stofthalten i rökgaskanalen före kondenseringen är därför A och O. Fallerar detta märks problemen i påsfiltren och i UF-membranen. Reningsmetoden med fällning- och flockning i rökgaskondensatreningen innebar större tålighet mot partiklar och suspenderande ämnen. Då var målet att fälla och flocka tungmetallerna som skulle avskiljas, dvs. klumpa ihop dem, och låta dem sedimentera och avlägsnas som slam. Med membrantekniken finns inga marginaler för höga halter suspenderat material i kondensatet. Förfiltreringen på rökgas- och vattensidan är därför fundamental för att kondensatreningen ska fungera.

Den vanligaste bekämpningsmetoden vid problem med mikrobiell tillväxt och igensättningar är att tillsätta biocider till sitt processvatten, t.ex. genom att tvätta sina membran med natriumhypoklorit. De studerade anläggningarna som upplever problem håller problemen i schack genom klorering och UV-behandling. Dessa metoder finns på marknaden och har testats i andra sammanhang både av kraft- och värmeverken och andra industriapplikationer.

Klorering har testats eller görs rutinmässigt hos ett antal anläggningar vilket visas i Tabell 23.

Tabell 23. Dosering och installation av klorering samt UV hos referensanläggningarna.

Anläggning	Desinficering med klor	Kondensat-rening driftsatt	Klordinstallering	UV Installerad
Värtaverket/KVV8	5 ppm hypoklorit tillsätts före uppfuktare	2016	2016/2017	2016/2017
Söderenergi	1 ppm hypoklorit tillsätts före uppfuktare	2009	2009, från start, men användes inte förrän 2012 då man fick behov av den.	Ska installeras 2018.
Strängnäs	1 ppm hypoklorit tillsätts före kondensatrening	2008	Doserar manuellt.	Under utredning.
Eskilstuna	2 ppm hypoklorit tillsätts före UF i kondensatreningen	2016	2016, från start, men användes inte förrän efter två månader då man fick behov av den.	Nej
Brista 1	3 ppm hypoklorit tillsätts före rotor	2014	Manuell dosering 2015. Doserutrustning 2017.	2016
Brista 2	Ingen klordinstallering	2013	nej	Nej
Högdalen	Test med UF-backspolning med hypoklorit har gjorts	2013	2014	Under utredning 2018.
Göteborg	2 - 3 ppm hypoklorit tillsätts före UF i kondensatreningen	2005	Doserar manuellt 2006.	2006. 2007 med större kapacitet.
Örebro	Ingen klordinstallering	2003	nej	Nej

En punkt som diskuterats flitigt är att rening med membranteknik (RO) har funnits länge på kraftvärmeverken för rening av stadsvatten till spädvatten utan problem med biologisk påväxt och igensättningar. Så varför uppstår problemen med behandling av rökgaskondensat? Sannolikt spelar de olika förutsättningarna in. Stadsvatten är lätt klorerat och mycket kallare än rökgaskondensat med en temperatur omkring 10°C. Rökgaskondensat ligger temperaturmässigt omkring 25 – 40°C. Stadsvattnet är ju också, som sagt, redan desinficerat då det kommer till verket, allt för att det ska vara tjänligt och drickbart för oss människor, till skillnad från rökgaskondensat.

Vid beställning av mikrobiologiska analyser, (egentligen oavsett vad som ska analyseras), är det viktigt att få rätt noggrannhet på svaret. Standard för mikrobiologiska analyser för vatten är dricksvattenanalyser. Dessa är till för att säkerställa att vattnet vi dricker är tjänligt utan anmärkning. Därför är det bara

intressant för laboratoriet att ange svar i form av "mindre än" en viss nivå. Exakt hur många bakterier det finns av en sort är inte intressant ur drickvattenperspektiv. Är vi däremot intresserade att se hur många bakterier som finns på ett ställe i kondensatreningen behövs mer exakta svar än "mindre än" eller "mer än" exempelvis 5000. Mer än 5000 kan ju vara allt från 5001 till oändligt många. Därför är det viktigt att vara tydlig med labbet vad som efterfrågas och kanske beställa en analys med spädning redan från början. Vattenprover är en färskvara och blir det fel så måste provet tas om. Det kan inte sparas ifall det inte blivit lagt i frysen omgående efter ankomst till labbet.

De genomförda DNA-testerna under projektet har inte gett några entydiga resultat förutom att det rör sig om mikrobiell tillväxt i form av bakterier i olika konstellationer. Antalet olika bakterier har varit stort oavsett anläggning och provpunkt även om det i vissa fall varit tydligt med någon eller några bakterietyper som dominerat sammansättningen. De olika typerna följer inget mönster vare sig mellan anläggningar eller provpunkter. Variationen inom en anläggning har troligen att göra med att olika provpunkter har marginella skillnader avseende livsbetingelserna för de olika bakterietyperna.

Det har inte hittats korrelationer mellan bakterietyper och anläggningar som upplever problem. Bakterietyperna förefaller inte ha något samband med problemen utan det är snarare förekomst av bakterier generellt som medför problem. Återigen i kombination med exempelvis en låg marginal på kapaciteten för kondensatvattenreningen.

Provtagningen (analyserna) av odlingsbara mikroorganismer samt långsamväxande bakterier förutsätter att det är levande organismer som testas, annars går de inte att odla på laboratoriet. Det betyder att utslag i dessa analyser medför levande mikroorganismer i vattnet. När det gäller DNA-analyserna gör dessa inte skillnad dött- och levande material. En slutsats är att igensättningarna består av alla dessa delar; levande och döda mikroorganismer, inklusive biofilm.

7.1 SLUTSATSER

De slutsatser som projektet kommit fram till är följande:

- Kapaciteten på kondensatvattenreningen kan vara avgörande ifall anläggningen upplever problem med biologisk tillväxt eller inte. Redundans i systemet i form av marginal på flödeskapaciteten ger möjlighet att hantera en viss mängd mikrobiell tillväxt utan upplevda problem, jämfört med anläggningar som saknar redundans.
- Alla anläggningar har mikrobiell tillväxt i sina kondensatvattenreningar, även de som inte upplever några problem. Det faktumet pekar också på att kapacitetskravet och möjligheterna för att kontrollera biologisk tillväxt i kondensatvattenreningen är avgörande och inte tillväxten i sig
- Rökgaskondensat är en idealisk miljö för mikrobiell tillväxt i sig, då vattnet har en angenäm temperatur på 25 – 40°C innehåller näring samt passerar olika filtersteg som erbjuder skyddade ytor att växa och leva på. En slutsats är att det inte är möjligt att konstruera bort uppkomsten av mikrobiell tillväxt helt. Istället måste hänsyn tas till en viss uppkomst vid dimensioneringen av

anläggningskapaciteten så att det finns marginal att hantera detta.

Kondensatvattenreningen bör därför dimensioneras med större marginaler på flödeskapaciteten, även om detta är förenat med en något högre investeringskostnad.

- Vid dimensioneringen av kondensatvattenreningen bör också marginal för framtida effekthöjningar på kondensorn tas i beaktande. Framtida möjligheter att sänka fjärrvärmens returtemperatur, bränslekonverteringar, effekthöjningar på förbränningspannan, luftuppfuktning etc påverkar kondensorns effektivitet. Ökad mängd kondensat gör snabbt att reningen blir underdimensionerad om marginal på flödeskapaciteten saknas.
- Orsak till igensättningarna i membranfiltren kan vara både levande och döda mikroorganismer. Ingen fördelning av olika typer av bakterier, typ av material eller så kan göras. Istället är det totalmängden mikrobiell tillväxt, och inte vilken typ, som avgör ifall problem uppkommer eller inte
- Påsfilter före RO, uppvisar en förhöjd bakteriehalt trots att vattnet passerat UF som ska avskilja bakterier. Förmodligen kommer bakterierna in i RO feedtank, speciellt om den är en kombinerad backspoltank till UF. Tanken är atmosfärisk och bakterier kan smita in med luften och tillväxa i påsfiltret. Särskilt stor är risken för påväxt när två redundanta påsfilter finns, där det ena står i beredskap. På en del anläggningar kan påsfiltret bli stående på detta sätt i ett par månader i väntan på att tas i drift. När det sker är det redan angripet av biofilm av de bakterier som har hunnit växa där i lugn och ro. En rekommendation är därför att inte sätta i en ny påse förrän det är dags att ta filtret i drift. Låt filtret stå torrt och utan påse under tiden det inte används. Detta är en rutin som har införts på bl a Bristaverket.
- En kondensatvattenrening bör redan vid installation vara försedd med system och möjligheter för rengöring/provtagning av mikrobiell tillväxt. Samtliga anläggningar med problem har i efterhand tvingats installera klordosering och UV-aggregat. Rekommendationer är att följande finns:
 - × UV-aggregat före UF.
 - × UV-aggregat före RO.
 - × Doseringsmöjlighet för biocider (Hypokloritdosering) före UF.
 - × Klormätare före RO.
- Med hjälp av bra provuttag kan en anläggning använda sig av de enkla, men effektiva, dipslides. Dessa kan analyseras på verket och utan behov av externa analyser. En regelbunden uppföljning av bakteriehalterna med dipslides samt möjlighet att dosera en biocid (t ex natriumhypoklorit) till lagom nivå, vilket säkerställs med klormätning, samt UV som basutrustning bör vara grundnivån för en rökgaskondensatrening med membranteknik.

Se till att sätta in strategiska provuttag redan från början. Jämställ rökgaskondensatreningen med hur man provtagning sker i vatten-ångcykeln, där man redan från början leder ner provuttag till en särskild anpassad provtagningsbänk och där personalen enkelt och smidigt kan följa upp anläggningen.

Installera provuttag på följande platser för att kontrollera vattenkvaliteten och mängden mikroorganismer;

- × Råkondensatet direkt efter kondensorn
- × Direkt före MF
- × Direkt före UF
- × Direkt före påsfilter före RO
- × Direkt före RO

Se till att provuttagen utformas så att det är enkelt och säkert att ta prover, dvs. med avstängningsventil i arbetshöjd och med dimension DN15-20 där röröppningen är riktad ner mot golvet och avslutas ca 30 cm från golvytan. Detta för att det inte ska stänka på personalen. Alternativt leds rören till en gemensam provtagningsbänk liknande de provtagningsbänkar som används inom matarvattentekniken.

- Skicket på påsfiltret före RO är en bra indikator på hur reningen mår. Färgen på beläggningen som bildas i påsfiltret säger en del om kondensatkvaliteten och man bör inspektera detta regelbundet för att lära känna sin anläggning. Om UF-membranen läcker så syns detta i påsfiltret och byte av påsfilter skall journalföras. Ifall intervallen mellan bytena blir kortare indikerar det problem med UF.
- Provtagningen visar att suspenderat material över skaksilen i flera fall är högre efter filtret än före. Detta mönster har också kunnat ses på Brista 1 där man gör milliporfiltrering före och efter skaksil. Detta är en anledning till att vara extra vaksam på skaksilens funktion. Man bör ställa frågan: - Sitter rätt typ av silduk på? - Är avdragsflödet från skaksilen korrekt? Det är också värt att följa upp avskiljningen över skaksilen med milliporfiltrering. Detta är en metod som används inom matarvattentekniken och som finns på varje kraftvärmeverk. Metoden kan användas även på rökgaskondensat för att erhålla en snabb analys och utgöra ett verktyg för uppföljning.
- Totalkväve är summan av ammoniumkväve, nitritkväve och nitratkväve. Analyserna visar att halterna av nitrit och nitrat är marginella och att det är ammoniumkväve som utgör merparten av totalkvävet. Provtagning av ammoniumkväve ger en tillräcklig bild av halten av totalkväve i rökgaskondensatet.
- Fosfor, nitrit och nitrat utgör försumbara näringskällor för bakterietillväxten jämfört med ammoniumkväve och rekommendationen är att inte analysera dessa parametrar.
- Inga skillnader har hittats mellan bioeldade- och avfallseldade anläggningar avseende problem med mikrobiell tillväxt. Dock förekommer högre halter suspenderat material för bioeldade anläggningar. Högre suspalhalter medför generellt högre belastning på MF och indirekt mer problem med igensättningar
- Inga samband har hittats mellan halterna TOC i rökgaskondensatet och problemen med mikrobiell tillväxt och igensättningar.

7.2 VIDARE FORSKNING

- Analysera halten järn- och mangan i kondensatet eftersom detta kan ge orange-rosa beläggningar på samma sätt som bakterier kan göra det.

- Provtagning på anläggningarna med kloreringen avstängd. Flera av anläggningarna klorerar kontinuerligt och flödesproportionellt och detta påverkar halten mikroorganismer. Under provtagningsprogrammet kunde inte kloreringen stoppas för att inte riskera driftstopp, därför fick provtagningen genomföras under normala driftförhållanden vilket innebär klorering av rökgaskondensatet på några av anläggningarna.
- Provtagning på anläggningarna med en annan rapporteringsgräns för mikroorganismerna. I detta projekt var rapporteringsgränsen ">5000" och det säger inte så mycket om flera prover är mer än 5000. Rapporteringsgränsen bör vara så hög som möjligt, gärna kring 1 000 000 cfu/ml.
- Analys av fritt klor i rökgaskondensatet borde i efterhand ha varit med som parameter i provtagningsprogrammet, men detta förutsågs inte, varför detta föreslås göras i en eventuell fortsättning.
- Möjligheten att vattnets totalkolhalt, i huvudsak i form av löst CO₂, kan ha betydelse för mikrobiell tillväxt har inte undersökts. Problemen är generellt sätt mindre vid tillämpningar där lägre halt löst CO₂ kan förväntas (exempelvis där stadsvatten används i membranfiltreringsprocesser eller där kondensatet uppkommit i sur i miljö), än i andra tillämpningar. Analys av CO₂ i rökgaskondensatet har inte varit med som en parameter i provtagningsprogrammet. Fortsatt forskning skulle kunna undersöka om det finns ett orsakssamband mellan totalkolhalt, i form av löst CO₂, och problem med mikrobiell påväxt.
- Kartlägg noggrannare vilken storlek på filter som respektive anläggning använder, dels på skaksilens dukar och påsfilterns påsar. Detta kan skilja mellan anläggningarna och påverka filtrens avskiljningsförmåga.
- Kontroll på förfiltreringen i form av skaksil och påsfilter som används på anläggningarna. Tecken tyder på att deras funktion och syfte kan ifrågasättas.
- Det finns stor erfarenhet bland anläggningsägarna kring olika tvätttekniker som används vid membrantvätt. Det finns några olika parametrar att variera med: Tvättemperatur, hur länge tvättmedlet cirkulerar, uppehållstid under tvätt, pH-värde för optimala resultat, vilka värden som triggar igång en tvätt och tvättfrekvens. I projektet har tvättförfarandet inte detaljstuderats, men det kan vara av intresse att ta fram en handbok eller lathund för skötsel och tvätt av membran i rökgaskondensatreningar – en "tvättshandbok" med råd och tillvägagångssätt om hur man kan tvätta sina membran. Typen av membran, material och utformning och fabrikat kan också påverka hur tvätt ska ske och vad respektive membrantillverkare rekommenderar.
- Projektet har gett en sammanställning av dagsläget. Nästa steg skulle vara att koncentrera sig på realistiska lösningar så som att man behöver ha möjlighet till klorering och uppföljning av fritt klor samt UV redan från början då anläggningen byggs. Det har framgått att nästan alla anläggningar byggs som om det inte kommer att växa i dem, d v s. utan beredskap på mikrobiologisk tillväxt. Den enda realistiska lösningen i dagsläget är att desinficera anläggningen kontinuerligt. Det skulle vara intressant att undersöka hur olika placeringar av klordosering och UV-aggregat påverkar tillväxten, till exempel i både pilotförsök och fullskaleförsök. Även alternativet att se över andra membranmaterial som står emot biofouling på ett bättre sätt är intressant.

8 Litteraturreferenser och kontakter

8.1 LITTERATURREFERENSER

- Nyttiggörande av kondensat från rökgaskondensering; Barbara Goldschmidt, 1996
Värmeforsk 568
- Avsaltning av varmt rökgaskondensat med membranteknik; Fredrik Axby, 1998
Värmeforsk 643
- Studie av rökgaskondensering för biobränsleeldade kraftvärmeanläggningar; Fredrik Axby, Jan-Olof Gustafsson, Johan Nyström, Kent Johansson, 2001. Värmeforsk 719
- Avancerad rening av rökgaskondensat; Fredrik Axby, Östen Ekengren, Jan-Erik Bjurhem, 2004 Värmeforsk 895
- Legionella i luftuppfuktare; Jessica Jeppesen, Helen Hansson, Ola Cederfeldt, Fredrik Axby, 2007 Värmeforsk 1016
- Utvärdering av erfarenheter av membranteknik för rening av rökgaskondensat; Barbara Goldschmidt, Emma Ekdahl, Mats Hellman, 2009, Värmeforsk 1089
- Benchmarking of flue gas condensate cleaning technologies in waste-to-energy plants, Teknikval vid rening av rökgaskondensat i avfallsförbränningsanläggningar; Barbara Goldschmidt, Henrik Olsson, Helen Carlström, 2011, Värmeforsk 1184
- Tungmetalljonbytare för rening av rökgaskondensat; Barbara Goldschmidt, Per-Olof Johansson, Henrik Olsson, Magnus Svensson, 2015, Energiforsk 2015:148
- Minskning av ammoniumhalt i rökgaskondensat; Barbara Goldschmidt, Linda Wiig, Mari Lord, 2015, Energiforsk 2015:194
- Råd och riktlinjer för UV-ljus vid vattenverk; Ulf Eriksson, 2009, Svenskt Vatten
- Bassängbad – Hälsorisker, regler och skötsel; Socialstyrelsen, Kjell Asplund 2006, Folkhälsomyndigheten

www.de.wikipedia.org

www.eurowater.se

www.prominent.se

www.lenntech.com

www.lenntech.com

www.akzonobel.com

www.hach.com

www.swedhandling.com

8.2 KONTAKTER

Kenneth Lundkvist (författare, projektledare)

Hanna Östfeldt (författare mikrobiologi, analyser)

Linda Wiig (författare anläggningar, provtagningsprogram)

Barbara Goldschmidt (författare rökgaskondensering, membranteknik)

Medverkande anläggningar i provtagningsprogram

Stockholm Exergi Högdalenverket (Jan Lundgren)

Stockholm Exergi Bristaverket (Sara Sjögren)

Göteborg Energi Sävenäsverket (Elisabeth Dahlin Zanders)

Söderenergi Igelsta Kraftvärmeverk (Niklas Berg)

Eskilstuna Energi & Miljö Strängnäs KVV (Stefan Karlsson)

E.ON Åbyverket (Mikael Norell)

Övriga medverkande

Hampus Bellander (Envibat)

Klas Hedman (Sweco)

Linnea Råberg (Eskilstuna Energi & Miljö)

Jim Johansson (Stockholm Exergi Värtaverket)

Carina Johannesson (Karlstads Energi Hedenverket)

Marie Ceasar Björk (Krafttringen Örtoftaverket)

Anna Holstein (Mälarenergi Västerås KVV)

Sara Bergkvist (E.ON Händelöverket)

Kristina Lassing (Öresundskraft Filbornaverket)

Referensgrupp

Erik Dahlén (Stockholm Exergi)

Jan Lundgren (Stockholm Exergi)

Per Örvind (Eskilstuna Energi & Miljö)

Jinying Yan (Vattenfall)

Dinko Lukes (Swerea)

Tvättmetoder

Per Wehlin, Prominent, per.wehlin@prominent.se

Jonas Larsson, Christian Berner, jonas.larsson@christianberner.com

Ralph Berdin, Brenntag Nordic, ralph.berdin@brenntag-nordic.com

John Lindam, Ozonotech, j.lindam@ozonotech.com

Ola Ritzén, AGA, ola.ritzen@se.aga.com

Eva Andersen-Hörman, Air Liquide Gas, eva.andersen-horman@airliquide.com

Bilaga 1 Anläggningserfarenheter

Samtliga anläggningar, 15 stycken, som deltagit i projektet presenteras först i en sammanställning som härstammar från ett frågeformulär som skickades ut.

Därefter presenteras intervjuerna med de åtta anläggningar som valdes ut som referensanläggningar där det togs prover och gjordes analyser på vattnet och den mikrobiella påväxten.

Anläggningarna presenteras först kortfattat med anläggningsinformation, sedan följer en processbild och därefter själva resultatet av intervjun.

Processbilderna är översiktliga eftersom alla anläggningar är lite olika i konfiguration, men för att på något sätt kunna jämföra dem var syftet att ändå försöka lyfta fram likheterna. Provtagningen gjordes före respektive filter och provtagningspunkterna är markerade med siffror.

Sammanställning av alla anläggningar i projektet

Anläggningsägare	Effekt panna Effekt RGK	Driftsatt år	Bränsle	Upp- fuktare	Avsättning för renat rökgas- kondensat	Leverantör rökgas- kondensat- rening, Driftsatt år	Del	Upplivelse av problem med biologisk tillväxt	Typ, membran, fabrikat
Brista 1 Bristaverket Fortum Värme	150 MW; 108 MW värme 42 MW el RGK; 30 MW	1997	Träflis	Ja	Våtmark	Radscan, 2014	MF	ja	Skaksl (100 my)
									Microdyn-Nadir, Aquadyn FT50-FUC, Hollow fiber, CTA cellulosatriacetat
							UF	ja	GE, AG 400, Spirallindade, thin-film
Brista 2 Bristaverket Fortum Värme	80 MW; 60 MW värme 20 MW el RGK; 12 MW	2013	Avfall	Nej	Våtmark	Mercatus, 2013	MF	nej	Påfilter Eurowater (25 - 50 my)
									Microdyn-Nadir, Aquadyn FT50-FUC 1582, Hollow fiber, CTA cellulosatriacetat
							UF	nej	GE, AG 8040 F400, Spirallindade, thin-film
P1, P2, P3, P4, P6 Högdalenverket Fortum Värme	P1, P2; 2 x 23 MW	1969	Hushålls- avfall				MF	ja	Skaksl
	P3; 41 MW RGK; 10 MW (P1, P2, P3)	1986	Hushålls- avfall	Nej	Till råvattentank vidare till spädvattenberedning	Radscan, 2013	UF	ja	Dacia, Aquadyn FT50-FUC, Hollow fiber, CTA cellulosatriacetat
	P4; 83 MW RGK; 16 MW	2005	Hushålls- avfall						
	P6; 91 MW RGK; 10 MW	2000	Returavfall				RO	ja	Toray, TM720-400 Nya; GE, AG 8040 F400, spirallind.
KV6 Värtaverket Fortum Värme	399 MW värme 145 MW el	1989	Stenkol och olivkross	Nej	Vatten till kolpasta	Radscan, 2009	MF	ja	Skaksl Amkco
							UF	ja	Daicen Membrane Systems, FT50, Hollow fiber, CTA
									Förfilter; påfilter Heco GE, AG 8040 F400, Spirallindade, polyamid

KVV8 Värtaverket Fortum Värme	434 MW värme 130 MW el	2016	Skogsflis	Ja	Spädvatten	Radsan, 2016	MF	ja	Skalsil Amkco
SÄV HP3 Sävenäsverket Göteborg Energi AB	105 MW; 95 MW värme 13 MW el	2004 på bio	Grot Bark Stamved	Ja	Spädvatten FV-vatten	Fagersta Energetics, 2005	MF	nej	Daicen Membrane Systems, FT50, Hollow fiber, CTA
Örtoftaverket Kraftringen	110 MW; 70 MW värme 40 MW el	2013- 2014	RT, biobränsle, torv	Nej	spädvatten	Radsan, 2013-2014	UF	nej	Förfilter, påsfilter Heco GE, AG 8040 F400, Spirallindade, polyamid
KVV1 Filbornaverket Öresundskraft AB	75 MW	2012	Utsorterat brännbart avfall	Nej	Återanvänds inom processen samt resterande leds till Öresund	Götaverken Miljö /Mercatus, 2012	RO	nej	Skalsil
Block 6 Kraftvärmeverket Västerås Mälarenergi AB	100 MW värme 50 MW el RGK; 30 MW	2014	Avfall	Nej	Spädvatten, annat processvatten	Mercatus	MF	nej	Microdyn-Nadir, Aquadyn FT50-FUC, Hollow Fiber, Cellulosa Tri Acetate
Igelsta Kraftvärmeverk Söderenergi	240 MW värme 85 MW el RGK; 60 MW	2009	Returfälls + skogsflis	Ja	Inte idag	Radsan, 2009	UF	ja	DMS, AG8040F400, Spirallindade, Thin-film
							RO	nej	Cuno 3MPurification
							MF	nej	Microdyn-Nadir, Aquadyn FT50-FUC, Hollow Fiber, Cellulosa Tri Acetate
							UF	nej	DMS, AG8040F400, Spirallindade, Thin-film
							RO	nej	Thin-film
							MF	nej	Påsfilter (Heco)
							UF	nej	Daicen membrane, Molsep Fiber FT50-AC-FUC, Hollow Fiber, CTA cellulosaetriacetat
							RO	nej	Förfilter, påsfilter Eurowater GE, AG 400, spirallindade, thin-film
							MF	nej	Skalsil
							UF	ja	Molpure, FW50, hålfiber, Cellulosaetriacetat
							RO	nej	Desal (GE), AG8040F (365), spiral, tunnfilm, polyamid

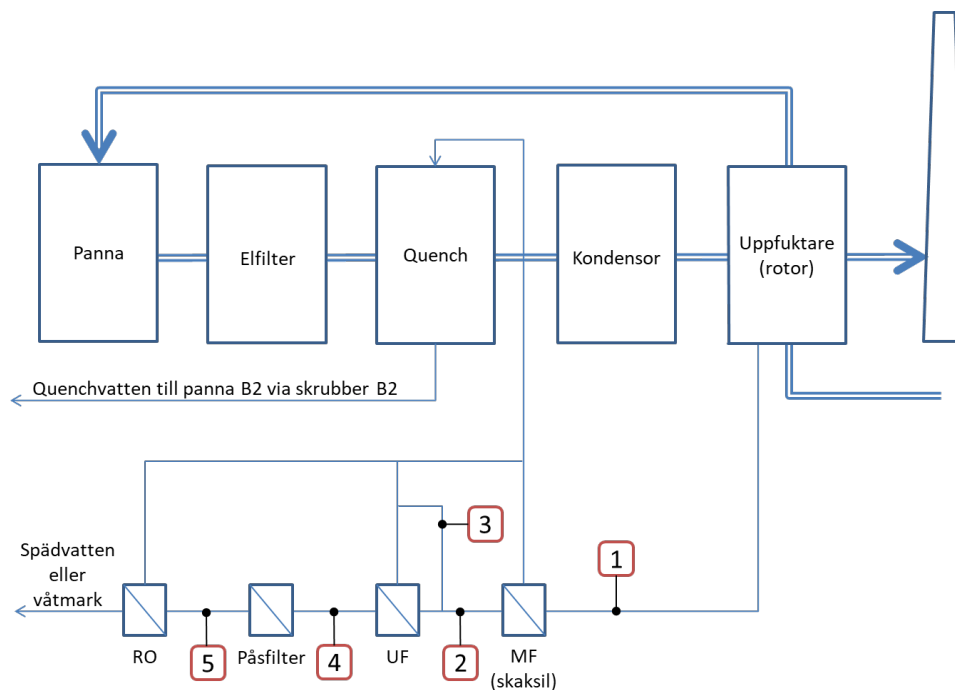
Panna 5 (CFB) Åbyverket, Örebro E.ON	170 MW RGK; 30 MW	1989	Träflis, torv, kol	Nej	Det mesta totalavslutas och används som processvatten till pannorna, men ett överskott renas och släpps till recipient.	Radscan, 2003	MF UF RO	nej nej nej	Skalsil Amkco (150 µm + 200 µm) Mercatus Engineering AB, hålfibermembran, polymer Mercatus Engineering AB, spirallindat membranelement, polyamid
P11 roter, P13 CFB Händelöverket E.ON	P11; 90 MW P13; 130 MW RGK; 38 MW	1982	80% RT + 20% skogsflis	Nej	Nej	Pronea, 2000-2001	MF UF RO	nej nej nej	Skalsil THURNE, ZS40S888 NADIR, MOLSEP FX50-RVC-FUC, GE (tidigare OSMONICS DESAL), DESEAL AG8040F400, Spirallindade, polyamid
		1993	Bio + 25% gummi + RT						
Strängnäs KVV ESEM	35 MW RGK; 6 MW	2008	100% RT	Nej	Spädvatten	Radscan, 2008	MF UF RO	ja ja ja	skalsil Amko NADIR Filtration GmbH, FW50-RVC-FUC1582, Hollow Fibers, Cellulose Tri Acetate Toray, TM720D-400, Cross Linked Fully Aromatic Polyamide Composite
Eskilstuna KVV ESEM	110 MW RGK; 30 MW	1999	Träflis	Ja	Till spillvattenmätet	Radscan, 2016	MF UF RO MF	nej ja ja nej	Skalsil Amko MICRODYN-NADIR GmbH, AQUADYN FT50-AC-FUC1582, Hollow Fibers, Cellulose Tri Acetate GE Power "Desal", AG8040F, Thin Film Membrane Skalsil
Heden 3 Hedenverket Karlstads Energi AB	88 MW RGK; 25 MW	2014	Bio	Ja	Spädvatten	Radscan, 2014	UF RO	ja ja	Microdyn-Nadir, Aquadyn FT50-AC-FUC, Hollow fiber, Cellulose Tri Acetate Toray, TM720-400, Spirallindade, Cross Linked Fully Aromatic Polyamide Composite

1 Brista 1

1.1 ANLÄGGNINGSPERSON

Datum	2017-11-24
Anläggning	Brista 1, Bristaverket, Märsta
Kontaktperson	Sara Sjögren, sara.sjogren@stockholmexergi.se
Panna	133 MW bränsle CFB-panna från 1997 (Foster Wheeler)
Bränsle	GROT, bark, stamvedsflis, sågspån, skogsflis
Drifttid	ca 5 500 h/år.
Rökgasrening	SNCR och elfilter
Våt rökgasrening	Quench från 2014 (Radscan)
Kondensering, uppfuktare	30 MW tubkondensor och uppfuktare med rotor från 2002 (Fagersta)
Kondensatrening	Kondensatrening med skaksil, UF och RO från 2014 (Radscan)
Rejektflöden	Rejektet från skaksil, UF och RO leds till quenchen. Avdragsflödet från quenchen (~200 l/h) leds till panna B2 via skrubber B2.
Problem med påväxt	Ja, om inte hypoklorit doseras.
Var märks problemen med påväxt?	Förr; I värmväxlaren som kyler kondensatet före UF. Därefter märktes beläggningarna i UF-membranen och i RO-membranen. Nu; Med hypokloriten har Brista 1 inte några problem, men om hypokloriten stoppas får man problem med diffstryck över UF-filtren och sämre flöde. Växlarna har spelat ut sin roll i och med flytten av rotorn, då denna nu kyler kondensatet före UF.
Åtgärder mot påväxt	Tvättning, biocid, UV

1.2 PROCESSBILD



Figur 80. Brista 1 (provtagningspunkter markerade med siffror)

Figure 101. Brista 1 (sampling locations marked with numbers)

1.3 ANLÄGGNINGSBESKRIVNING OCH PÅVÄXTPROBLEMATIK

Bristaverket togs i drift 1997. Anläggningen bestod då av en biobränsleeldad panna, Brista 1. År 2013 driftsattes det avfallseldade kraftvärmeverket Brista 2, som har en värmeeffekt på 60 MW och en eleffekt 20 MW.

Brista 1 består av en biobränsleeldad CFB-panna, som har en värmeeffekt på 108 MW och en eleffekt på 42 MW. Brista 1 är utrustad med SNCR och elfilter. Sedan 2002 är Brista 1 försett med en rökgaskondenseringsanläggning på 30 MW. Rökgaskondensatet renades ursprungligen genom sandfiltrering och fällning.

I samband med att man fick ett nytt miljötillstånd när Brista 2 skulle byggas, fick man ökade krav på utsläppet av rökgaskondensat. T ex sattes gränsen för halten $\text{NH}_4\text{-N}$ i renat kondensat före recipient till 5 mg/l. För att slippa förse kondensatreningen på Brista 1 med NH_3 -avskiljning, valde man då att installera en quench före rökgaskondensorn. Rökgaskondensatreningen byggdes samtidigt om till rening med skaksil, UF och RO. År 2014 driftsätts den ny rökgaskondensatrening med MF, UF och RO.

Rejektet från RO, liksom rejekt från skaksil och UF leds tillbaka till quenchen. Eftersom Brista 1 inte har något kalkdoserat stofffilter, som säkerställer att eventuella klorider i quenchvattnet avskiljs och inte anrikas i pannan på grund av vattenåterföringen till pannan, leds ett avdragsflöde från quench B1 på ~200 l/h till pannan i B2 via dess skrubber.

Brista 1 har kondensering och uppfuktning med rotor och då den nya kondensatreningen planerades så beslöt man lägga denna före rotorn och att sedan spraya rotorn med det renade kondensatet (RO-permeatet) innan detta leddes till recipient. Orsaken till detta var att undvika bakterietillväxt och beläggningar av mikroorganismer. Det har på andra anläggningar visat sig att bakterier och mikroorganismer sätter igen UF- och RO-membran och man har utgått från att tillväxten startar i rotorn där det tillförs luft vid en, för mikroorganismer, lämplig temperatur och i fuktig miljö. Dock verkar det inte som att det är rotorn som är den svaga länken i kedjan på Bristaverket eftersom rotorn här var placerad sist i systemet. Bakterietillväxten startade redan i kondensattanken, direkt efter kondensorn.

Några månader efter första driftsättningen 2014 upptäcktes beläggningar av mikroorganismer på vattenreningsutrustningen. De första tecknen på beläggningar märktes i värmeväxlaren som kyler kondensatet före UF. Därefter märktes beläggningarna i UF-membranen och i RO-membranen.

År 2015 tog man bort dränageledningarna som ledde från rotorn till renvattentanken, eftersom detta dränage förorenade kondensatet kraftigt. Avdragsvattnet från quench B1 började ledas till skrubber B2. Detta hade tidigare körts bort för extern destruktion. Leverantören hade restpunkter och många vattenprover skickades till Mikrolab för analys av bakterier och andra mikroorganismer. Hypoklorit börjar manuellt doseras under våren 2015. Kapaciteten har gått ner kraftigt och en fast installation för dosering av natriumhypoklorit byggs sommaren 2015.

Sommaren 2016 ändrades processföljden genom att kopplingen mot rotorn flyttas, så att rotorn inte längre ligger sist i processen utan direkt efter kondensorn. UV installeras sommaren 2016 i syfte att inte vara alltför beroende av hypokloritdoseringen. Denna blev snabbt underdimensionerad på grund av att Brista 1 nu (2017) kör högre flöden på grund av sänkt returtemperatur på fjärrvärmn. Man hade inga problem med UV-lamporna det första halvåret, men sedan började utrustningen larma för en lägre transmission. Ev. kan problem med stofffiltret (elfiltret) ha gjort att förutsättningarna för UV-lampan har försämrats. Utrustningen larmar nu ofta för fel och det är oklart hur mycket den hjälper mot bakterietillväxt.

Rökgaskondensatreningen behöver numera rengöras kontinuerligt med hypoklorit för att vara tillgänglig. Hypokloriten har dels doserats batchvis och dels kontinuerligt och flödesproportionellt mot inkommande kondensatflöde. Hypokloritinstallationen är under utredning och ses inte som en slutgiltig lösning. Dosering av hypoklorit sker idag före rotorn. Doseringspunkten är placerad på sugsidan av rotorspolpumpen. För mätning av fritt klor används idag en handmätare.

Om man inte kan stoppa anläggningen så ökas backspolningen över UF. Man ökar också klordoseringen till rotorn (chockdoserar). Om detta inte hjälper stoppas anläggningen och man tvättar med Ultrasil 53, samt tvättar tankar som man tror är kontaminerade, t ex MF matartank och UF matartank. Man öppnar upp tankarna, spolar och desinficerar.

Man har på Bristaverket testat att tvätta med en annan biocid på RO-membranen, än den vanliga hypokloriten. Tyvärr hade man inte resurser för att installera en helt ny pump för att testa denna nya biocid (bromopol?) och man är också osäker på om det verkligen hjälper om membranen väl har blivit hårt igensatta. De sitter i serie och förorenar varandra.

Dukstorleken på skaksilen har också visat sig ha betydelse. År 2017 har man bytt silduk till en duk med större (?) öppningsarea; 150MG/104µm istället för 100MG/140µm. Denna silduk ger en bättre partikelavskiljning men är samtidigt känsligare för skakningar. Från början hade man den minsta och enklaste motorn på skaksilen, men denna byttes ut till en större och kraftigare motor, för att få en bättre partikel-avskiljning. Summa summarum blir att silduken nu skakar sönder och man bygger nu en bypass förbi skaksilen. I bypassen installerar man två påsfilter så att dessa kan användas som förfiltrering före UF, istället för skaksilen. Driftstart hösten 2017. Påsfiltren är av typen Heico med storleken 50 µm eller 100 µm.

Under 2017 har också två extra UF-membran satts in i befintlig UF-rigg. Detta för att klara det ökade kondensatflödet i och med att returtemperaturen på fjärrvärmens har gått ned. UF-riggen var förberedd med två extra platser från början, och dessa har man alltså valt att nyttja nu.

Leverantören anger att tvättvattnet måste vara spädvattenkvalitet, vilket gör att Brista 1 måste öka sin spädvattenproduktion då tvättning och sköljning ska utföras. Vid några tillfällen har detta infallit samtidigt som man har haft andra problem som också krävt stor spädvattenförbrukning. Produktionen av spädvatten har inte hunnit med för både samtidig tvättning, sköljning och en högre förbrukning. Detta har gjort att tvättning och sköljning av rökgaskondensatreningen tagit längre tid i anspråk än vad som hade behövts.

Angående suspproblematiken så verkar det härröra från elfiltret. Efter att driften har gjort en noggrannare analys av dess funktion och tittat på stoftmätare efter elfilter så har det upptäckts att man får kraftiga spikar på stofthalt innan kondensering. Detta har inte uppmärksamrats eftersom stofthalt ut ur skorsten har varit bra, men då har det redan passerat ett antal steg och spikarna visar sig inte där. Den förhöjda stofthalten påverkar rökgaskondensatreningen negativt och man får igensättningar på grund av detta. Med andra ord, igensättningar som inte kan härledas till ökad tillväxt av mikroorganismer, utan är stoftrelaterade. Stoft- och suspavskiljningen över skaksilen börjar fungera dåligt. Kemisten börjar följa detta med hjälp av milliporfiltrering.

Pumpar från Elados klarade inte av det gasformiga mediet som hypokloriten utgör. Dessa pumpar fick bytas till Prominents självavlufande pumpar.

Efter tre år har man fått bra kontroll på påväxtproblematiken. När pannan gått till att bli en "icke baslastpanna" så körs pannan med många fler start och stopp, men man kan inte låta kondensatreningen stå still för då odlar man bakterier. Därför krävs det att man har en kontinuerlig rundpumpning genom anläggningen. Man måste vara förberedd på att det är förutsättningarna utifrån som ändras och som man inte kan påverka själv – anläggningen som man har är dimensionerad för vissa förutsättningar och ändras de förutsättningarna så kan man inte räkna med

att anläggningen ska klara kraven. Det är därför viktigt att inte ha för små marginaler när man dimensionerar en anläggning, utan ta höjd för effekthöjningar och ökade utsläppskrav.

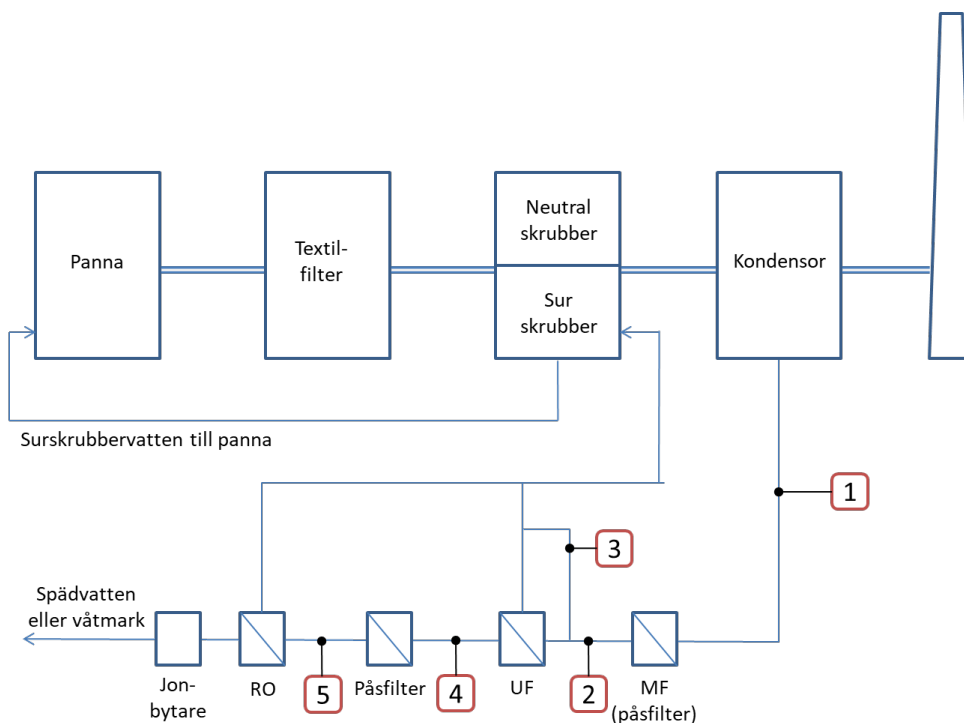
Sedan hösten 2017 tar man prover med dipslides veckovis, för att kunna följa utvecklingen av mikroorganismer och kunna förebygga driftstopp.

2 Brista 2

2.1 ANLÄGGNINGSPERINFORMATION

Datum	2017-11-24
Anläggning	Brista 2, Bristaverket, Märsta
Kontaktperson	Sara Sjögren, sara.sjogren@ stockholmsexergi.se
Panna	80 MW rosterpanna från 2013 (Martin)
Bränsle	Hushålls/industriavfall 50%/50%
Drifttid	Drifttid: >8000 h/år
Rökgasrening	SNCR och slangfilter med dosering av kalk och kol (NID från Alstom)
Våt rökgasrening	Skrubber med surt steg inkl. quench samt neutralt steg.
Kondensering, uppfuktare	12–15 MW tubkondensor från 2013 (Alstom), ingen uppfuktning
Kondensatrening	Kondensatrening med påsfilter, UF och RO från 2013 (Mercatus)
Rejektflöden	Rejektet från UF och RO leds till surskrubbern. Hit kommer också rejektflödena från rökgaskondensatreningen på B1.
Problem med påväxt	Nej

2.2 PROCESSBILD



Figur 81. Brista 2 (provtagningpunkter markerade med siffror)

Figure 202. Brista 2 (sampling locations marked with numbers)

2.3 ANLÄGGNINGSBESKRIVNING OCH PÅVÄXTPROBLEMATIK

Det avfallseldade kraftvärmeverket Brista 2, med en värmeeffekt på 60 MW och en eleffekt på 20 MW, driftsattes 2013. Pannan är försedd med en skrubberkondensor med en effekt på 12–15 MW. Skrubberkondensorns funktion är huvudsakligen värmeåtervinning, men den fungerar samtidigt som en våt rökgasrening. Eftersom kondensorn är försedd med bypass har man krav på att den torra rökgasreningen själv ska klara att rena rökgaserna till godkänd nivå, vilket man också klarar. Med kondenseringen i drift får man dock en större marginal till årsmedelvärdet.

Kondensatöverskottet renas i en kondensatreningensanläggning och släpps sedan ut till recipient. Rejekt från UF och RO i kondensatreningen leds till quenchen. Även backspolningsvatten, tvätt- och sköljvatten från UF och RO leds till quenchen. Leverantören av vattenreningsutrustningen anger att det räcker med stadsvattenkvalitet för tvättning och sköljning.

Brista 2 har varit i drift sedan oktober 2013. Rökaskondensatreningen har mestadels fungerat problemfritt och visat mycket låga utsläppsvärden på det renade kondensatet.

Ingen bakterietillväxt eller igsättningar på grund mikrobiologisk aktivitet har kunnat påvisas, så några åtgärder mot påväxt behövs ej.

Däremot fick man under 2015 igsättningar på grund av svarta kletiga beläggningar som visar sig i påsfiltret före RO. Detta svarta slam har även upptäckts i UF. Alla tecken tyder på att det är något organiskt material. Det kommer så långt att det går genom påsfilter (100 µm) och UF och sedan fastnar i polisfiltret (påsfilter 1 µm) före RO. Man misstänker att det är något oförbränt av något slag, eftersom det är tjärliknande och lite segt i konsistensen.

Orsaken till dessa svarta beläggningar tros vara oförbrända kolväten som följer med rökgasen till kondenseringen under uppstart av anläggningen. De är så små så att de faller ut först efter ultrafiltreringen. Beläggningarna är svåra att backspola och skölja bort eftersom de är kladdiga och sammanhängande som långa trådar. De löser sig inte i vanligt tvättmedel, utan kräver mekanisk rengöring eller att igsatta filterpåsar ersätts med nya.

Brista 2 har idag, 2017, fortsatt problem av dessa slag och ska byta ut några UF-membran. Man har svårt med regleringen av processen och anläggningen körs mycket som on/off-körning, det vill säga flödet pendlar mellan noll och maxflöde. Ett (eller flera) tryckkärl i UF-riggen har spruckit. Oklart varför. Man bygger nu ut UF-riggen så att det kommer att bli ett nytt led, totalt två led när ombyggnaden är klar. Orsaken är den genomförda effektökningen på kondensorn vars konsekvens är ett större kondensatflöde och att kondensatreningen därför måste uppgraderas med avseende på maxkapaciteten.

Driftpersonalen har tagit prover med dipslides vid behov. Detta har gett visst utslag, framför allt i koncentratet (rejektet) från UF, men också i UF-permeatet före RO. I råkondensatet finns inga tecken på mikrobiologisk aktivitet.

Det som man har mest problem med är den svarta, kletiga, beläggningen, som är lite slemmig och seg. Denna visar sig fortsatt mest i påsfiltrena före UF och sedan

syns en del också i påsfilter före RO. Påsfiltren före UF är numera på 50 µm, men den svarta beläggningen går igenom detta och påsarna måste bytas ofta. Bristaverket kommer byta till ännu finare påsar på 25 µm.

Avdraget från skrubber B2 till panna B2 är på 350 l/h. Detta är ett fast flöde, men Bristaverket håller på att installera en konduktivitetsmätare på detta flöde, för att kunna följa om man behöver öka avdragsflödet, eller om man kan minska det.

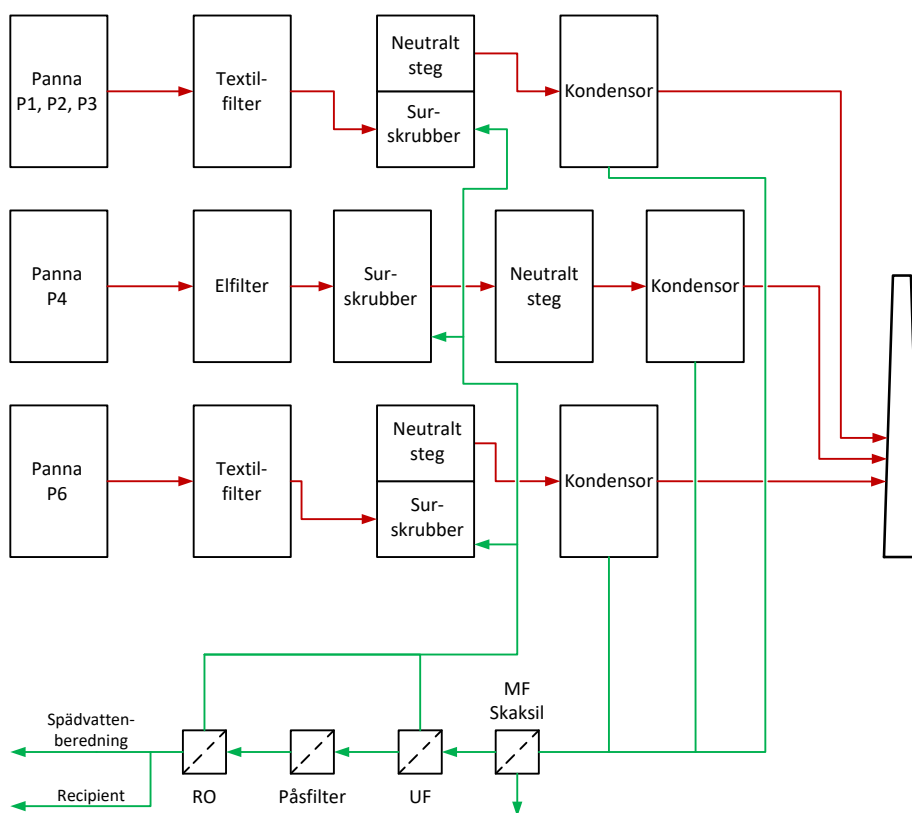
Under 2016 behövde Brista 1 stoppas och tvättas en gång varannan vecka, medan Brista 2 krävt 3 – 4 tvättar per år inklusive tvätt i samband med revision. Brista 2 kräver inte hypokloritdosering för att kunna fungera.

3 Högdalenverket

3.1 ANLÄGGNINGSPERSONINFORMATION

Datum	2017-04-28
Anläggning	Högdalenverket
Kontaktperson	Jan Lundgren, jan.lundgren@stockholmexergi.se
Panna	P1; 23 MW, 1969, rosterpanna, VKW P2; 23 MW, 1969, rosterpanna, VKW P3; 41 MW, 1986, rosterpanna, Martin P4; 83 MW, 2005, rosterpanna, Völund P6; 91 MW, 2000, CFB, Foster Wheeler
Bränsle	P1, P2, P3, P4; hushållsavfall. P6; returavfall
Drifttid	Pannorna är i drift året runt, utom under revision ca 4 veckor per år.
Rökgasrening	P0 (P1, P2, P3); SNCR, textila slangfilter med släckt kalk, Alstom. På P3 körs Sorbacal och aktivt kol. P4; SNCR, elfilter P6; SNCR, textilt slangfilter med släckt kalk och aktivt kol, Alstom
Våt rökgasrening	P0 (P1, P2, P3); Skrubber med surt (ingen syra tillsätts) och neutralt steg, Alstom P4; Skrubber med kalkmjölk (kalksten) och aktivt koks + lut, LAB, vått elfilter P6; Skrubber med surt (ingen syra tillsätts) och neutralt steg, Alstom
Kondensering, uppfuktare	Kondensering P0; 10 MW, tubvärmeväxlare, Alstom Kondensering P4; 16 MW, tubvärmeväxlare Kondensering P6; 10 MW, tubvärmeväxlare, Alstom Ingen uppfuktning
Kondensatrening	En vattenreningslinje för alla pannor med rökgaskondensering (P1, P2, P3, P4, P6). Radscan 2013 MF: skaksil, porstorlek 104 µm UF; Dacia, Aquadyn FT50-FUC, Hollow fiber, Cellulosa Tri Acetat Filter före RO; påsfilter Heco, porstorlek 10 µm, två stycken som sitter parallellt (redundanta) RO; Toray, TM720-400. Nya RO-membran; GE, AG8040 F400, spirallindade
Rökgaskondensatflöde	45 m ³ /h (designflöde)
Avdragsflöden från kondensatrening leds till	MF; En vattenbehållare på planet under. UF; via rejekttanken tillbaka till surskrubbrarna RO; via rejekttanken tillbaka till surskrubbrarna
Tvättvatten	Dejonat och permeat. Värms med kondensat från kondensor VK6.
Avsättning för rökgaskondensat	Till råvattentanken vidare till spädvattenberedning alternativt till recipient.
Problem med påväxt	MF; går bra hela tiden, inga problem UF; ganska mycket problem Påsfilter före RO; dessa måste bytas ofta RO; ganska mycket problem
Åtgärder mot påväxt	Tvätt och dosering av hypoklorit
Förebyggande åtgärder	UV – nej, inte ännu, men funderar på att installera detta. Fortsatt dosering av hypoklorit.

3.2 PROCESSBILD



Figur 82. Högdalenverket

3.3 ANLÄGGNINGSBESKRIVNING OCH PÅVÄXTPROBLEMATIK

Högdalenverket består av fyra hushållsavfallseldade ångpannor, P1-P4, en oljeeldad ångpanna, P5, en verksamhetsavfallseldad ångpanna, P6, och en elpanna, EP21. Dessutom finns efter pannorna P1-P4 och P6 rökgaskondensering där ytterligare energi kan utvinnas.

I fastbränslepannorna, P1-P4 samt P6, finns SNCR för att reducera NO_x i rökgaserna.

De tre avfallspannorna, P1-P3, är utrustade med var sin rökgasreningsutrustning bestående av en (P1 och P2) respektive två (P3) kalkreaktorer, textilt slangfilter samt en gemensam skrubber med efterföljande kondensor. Denna form av rökgasrening finns även efter panna 6. För att reducera bland annat dioxinhalten i rökgaserna efter panna 6, tillsätts aktivt kol före kalkreaktorn. I övrigt är de två rökgasreningsanläggningarna jämförbara.

Rökgaserna blandas i kalkreaktorn med släckt kalk (P1-P3 och P6). Reaktionsprodukter och stoft avskiljs i ett slangfilter och förs efter mellanlagring i en silo till deponi.

Efter slangfiltret går gasen till en skrubber i två steg, ett surt och ett neutralt steg. Därefter kommer rökgaskondensorn, som består av en tubvärmeväxlare.

P4:as rökgasrening består i huvudsak av elfilter, skrubbrar och kondenseringssteg liksom övriga avfallspannor. I elfiltret efter pannan sker en första stoftavskiljning och därefter förs rökgaserna till skrubber G1. I nedre delen av skrubber G1 tillsätts kalksten för pH-reglering. I skrubber G2 tillsätts aktivt koks och lut. Nästa steg i P4:ans rökgasrening är ett vått elfilter och under elfiltret sitter kondensorn.

Allt rökgaskondensat i Högdalens kraftvärmeverk samlas till en gemensam reningsanläggning som består av tre steg;

1. Mikrofiltrering (MF) i form av skaksil – är första steget i reningen som avskiljer suspenderat material ner till 100 μm .
2. Ultrafiltrering (UF) – är andra steget som avskiljer i huvudsak suspenderat material $>0,05 \mu\text{m}$. Rejektet från backspolningen leds via rejekttanken till sura steget på skrubbrarna i rökgasreningen.
3. Omvänd osmos (RO) – är tredje och sista steget som avskiljer metalljoner och lösta salter. Innan RO finns ett polisfilter i form av påsfilter.

För att även rena RO-rejektet från matarvattenreningen så tillsätts detta efter ultrafiltreringen.

Det renade rökgaskondensatet leds till anläggningens råvattentank för att återanvändas inom kraftvärmeverket. I de fall då det finns ett överskott av renat rökgaskondensat så släpps det via dagvattensystemet till recipient.

I kraftvärmeverket finns avhärdningsanläggning, RO-anläggning (omvänd osmos) och EDI-anläggning (elektrodynamisk joniseringsanläggning) för beredning av matarvatten till de olje- och avfallseldade pannorna samt för beredning av spädmatningsvatten till fjärrvärmenätet.

Renat rökgaskondensat har tidigare släppts ut via dagvattensystemet till Mälaren. Stockholm Exergi (dåvarande Fortum) fick via en fastslagen miljödom uppgiften att utreda förutsättningar att återföra renat rökgaskondensat till processen. Utredningen visade att delar av rökgaskondensatet kunde återföras till processen under förutsättning att en ny reningsanläggning installerades och anläggningen i övrigt anpassades för att ta emot det renade kondensatet.

Under 2013 genomfördes installationen av denna återföring av renat rökgaskondensat och anläggningen har varit i drift sedan dess, vilket lett till minskningar av anläggningens vattenförbrukning samt utsläpp av renat rökgaskondensat till dagvattennätet och recipient. Återföringen av det renade rökgaskondensatet har fallit väl ut och den nya reningen har reningsmässigt visat sig vara mycket effektiv och många metallhalter ligger under detektionsgräns. Under 2015 har CO_2 -filter installerats för att möjliggöra ökad återföring av renat rökgaskondensat till matarvattenberedningen.

Skaksilarna går bra hela tiden. UF- och RO-membranen har ganska mycket problem. När man hade kört ett år kom igensättningsproblemen som en chock. Kapaciteten i UF-membranen gick ner drastiskt. Man fick börja tvätta ganska ofta. Kapaciteten var nere i 10 m^3/h , ca 22 % av vad anläggningen är dimensionerad för. Anläggningen är dimensionerad för 45 m^3/h men den kan gå att köra kring 55 – 60 m^3/h . Man fick tvätta nästan varje vecka och i denna veva installerades

natriumhypokloritdosering. Stockholm Exergi gjorde detta arbete själva. Leverantören hjälpte till med att svara på frågor, men stod inte för installationen av hypokloritdoseringen.

Den första doserpunkten för natriumhypokloriten var råkondensat P4 eftersom man tyckte sig se att det växte som mest i bufferttank P4. Efter ett halvår började man dosera även till råkondensatet från P0 och P6, med andra ord i bufferttank P0/P6.

Tvättningen behövs inte lika ofta efter att natriumhypokloriten har installerats. Tvättningen fungerade annars hjälpligt. Man behövde aldrig backa med anläggningen eftersom man har så pass bra inbyggd redundans i vattenreningen.

I november 2016 uppstod dåligt kapacitet i både UF- och i RO-membranen. Tidigare hade man bara haft problem i UF-membranen. Man började att läcksöka UF-filtren, men de visades sig vara i stort sett hela. Ett av filtren läckte, men enligt leverantören så var det så lite så det kunde man bortse ifrån.

RO-membranen satte igen. 44 stycken RO-membran byttes per led, totalt 88 membran. Varje membran kostar 6000 kr, så det motsvarar en kostnad på drygt en halv miljon kronor bara i membrankostnad. Detta efter en drifttid på tre år.

Tabell 24. Tidsaxel

2013	2014	2015	2016
Driftsättning ny vattenrening	UF-kapaciteten går ner drastiskt. Natriumhypokloritdosering installeras.		UF och RO-kapaciteten går ner och 88 RO-membran måste bytas ut

2017 har kapaciteten gått ner igen. Man har, efter att ha tvättat, fått upp den till 38 m³/h, vilket motsvarar 84 % av vad anläggningen är dimensionerad för.

Påsfiltren före RO blir igensatta och geggiga. Beläggningarna i påsfiltren är bruna och slemmiga. I början kunde dessa köras länge utan problem. Nu måste de bytas ofta. Filtrena byts med ca två veckors intervall. Driften ser när det är dags att byta på att tryckfallet över filtren stiger. Tryckfallet för inte vara över 2 bar.

Påsarna hängs upp och kan inspekteras efteråt. Det blir som en brun kaka av mikroorganismer. Det har varit samma porstorlek (10 my) hela tiden. Påväxten (mikroorganismerna) är inte typade, men beläggningarna känns slemmiga. Samma typ av beläggningar finns i UF-membranen.

Stockholm Exergi arbetar själva med igensättningsproblemen idag och har inte någon hjälp från leverantören av anläggningen. För att upptäcka att det finns igensättningsproblem behöver driftpersonalen vara rejält insatta i driften av vattenreningsanläggningen. Om pumpen för UF feed ligger på 100 % och ventilen TMP också ligger på 100 %, men flödet genom anläggningen ändå är lågt, så finns det igensättningsproblem. Alternativet är att båda UF-linjerna går in för att klara ett flöde på 30 – 40 m³/h. Varje linje kör då 15 – 20 m³/h. Man saknar driftinstruktion kring detta, och kommer att ta fram det till driften så att de lättare ska kunna upptäcka igensättningsproblem i tid.

Då tryckfallet ökar så är första åtgärden att tvätta. Som andra åtgärd ökas doseringen av natriumhypoklorit. Man har annars en kontinuerlig dosering av natriumhypoklorit, som styrs på flödet (flödesproportionell dosering). Idag finns ingen klormätningssutrustning installerad men förslag finns att börja mäta fritt klor.

Det finns två vattenreningslinjer, som är parallella och redundanta. Varje linje är byggd för att klara 100 % flöde. Detta gör att man kan stänga av en linje och tvätta den i lugn och ro, medan den andra linjen kan köras på 100 % kapacitet. Det finns en fast installerad tvätt. Tvättvattnet värms upp genom att det värmeväxlas mot rökgaskondensat. Tvättvattnet kan då hålla ca 40 – 45°C. Det tvättmedel som används är för UF Ultrasil 53, som är ett svagt basiskt pulver. För RO används Ultrasil P3 115, som är basiskt, och Ultrasil 75, som är surt. Dejonat används till att tvätta UF och permeat används till att tvätta RO.

Man har börjat titta på att installera UV-lampa. Syftet är att helt slippa dosera natriumhypoklorit. Funderingar finns på att sätta in flera lampor, i serie, på olika positioner. Positionerna för en UV-lampa anses som viktigast efter skaksil (före UF feedtank). Näst viktigaste positionen anses vara i UF-cirkulationen.

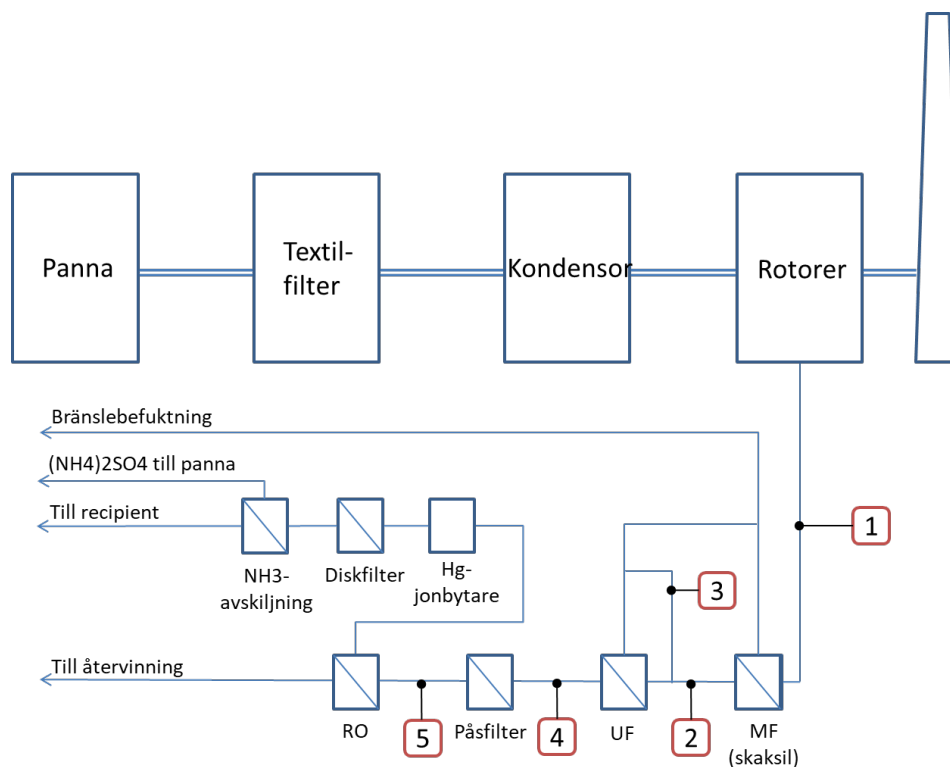
Man använder kontinuerligt dip-slides för att följa upp halten mikroorganismer. Detta gör man en gång per vecka i syfte att samla underlag till statistik och som diskussionsunderlag till den förbättringsgrupp som man har bildat. En förbättringsgrupp för just igensättningsproblematiken i vattenreningen. Man anser inte att man behöver ha noggrannare analyser än dip-slides, utan dessa ger en tillräckligt bra bild över nivåerna av mikrobiell tillväxt.

4 Igelsta KVV

4.1 ANLÄGGNINGSPERIODINFORMATION

Datum	2017-05-10
Anläggning	Igelsta KVV
Kontaktperson	Niklas Berg
Panna	240 MW, från 2009 (Foster Wheeler)
Bränsle	Returträ 70% Skogsflis 30 % Startade på mer skogsflis och mindre returträ (RT).
Drifttid	Ca 7500 timmar. Pannan körs hela året utom under revisionsperioden som är 6 veckor.
Rökgasrening	SNCR. Textilfilter (Alstom) med aktivt kol och släckt kalk som alterneras med bikarbonat.
Våt rökgasrening	Nej
Kondensering, uppfuktare	Kondensering på 60 MW som utgörs av två tubvärmewäxlare (Radscan) på vardera 30 MW och två uppfuktare som går hela tiden. Kondensatflödet är 50 – 70 m ³ /h. Uppfuktarna (rotorer från Radscan) sprayas med neutraliserat råkondensat.
Kondensatrening	MF (skaksil, 140µm); två som körs kontinuerligt. UF Påsfiler (10 my) RO (1 pass) Hg-selektiv jonbytare Diskfilter NH ₃ -kontaktmembran från 2014 (Radscan). Dessa håller ca 3 år.
Rejektflöden	MF; bränslebefuktning UF; bränslebefuktning RO; till tungmetalljonbytare -> Ammoniumsulfat -> recipient
Problem med påväxt	Ja

4.2 PROCESSBILD



Figur 83. Igelsta Kraftvärmeverk (provtagningspunkter markerade med siffror)

Figure 304. Igelsta Kraftvärmeverk (sampling locations marked with numbers)

4.3 ANLÄGGNINGSBESKRIVNING

Anläggningen driftsattes år 2009. Tanken var att det redan skulle finnas UV-lampor på plats, för att motverka bakterietillväxt, men detta slopades under genomförandet. Doserutrustning för hypoklorit var däremot installerad redan från början, som alternativ till UV.

År 2011 tvättades anläggningen ca 1 gång per vecka och man tyckte att det gick bra. Man skickade vatten på analys och analyserade odlingsbara bakterier. Då hade man mycket bakterier i UF feed och i UF cirkulationskrets.

År 2012, tre år efter driftsättning, startade man hypokloritdoseringen. Anledningen var problem med igensättningar av UF-membranen, som märktes på grund av att kapaciteten gick ner. 10% tappades per dygn och man fick tillbaka 10% efter tvätt. Vissa perioder tvättade man ibland varje dag. Andra perioder kunde anläggningen gå ganska bra. Inga bakteriemängder mättes under denna tid. Man tvättade ofta och doserade hypoklorit. Det fanns inte någon hjälp att få externt och det tog tid att hitta en lösning på problemen.

År 2014, fem år efter driftsättningen, så började man att mäta bakteriehalten i kondensatet med hjälp av dip-slides. Detta genom ett tips som man fick på en kylvattenkonferens. Vilken agar eller så visst man inte utan man testade sig fram

och fick svar som kändes godtagbara. Dip-slides kostar ca 30 kr/st och erbjuder en enkel och snabb metod för uppföljning. Analysresultatet på dip-slides tolkas enligt nedan:

Enstaka prickar	ok
10 prickar	ok
100 prickar	kolla UF-flöde och planera in rotortvätt för då vet man att det är dags att tvätta rotorerna.

2015 tvättades rotorerna första gången med bra resultat. Man fick stoppa kondenseringen och rotorerna för att tvätta dessa. Då försvann problemen i UF. Man tvättar rotorerna genom att köra dem i normal hastighet, håller i lut och hypoklorit tillsammans i rotorspoltanken och kör runt detta som en sluten krets.

Om man tappar kapaciteten på UF så tvättas rotorerna. Även UF måste tvättas för att man ska få tillbaka kapaciteten. Vid tvätt måste man tvätta med varmt vatten, vilket innebär att man då, temperaturmässigt, ligger på gränsen till vad UF egentligen tål.

Idag, år 2017, kör man rotortvätt 1 - 2 gånger per år. Man behöver inte längre tvätta rotorerna i panik. Man kan idag köra ett kapacitetstest (flöde UF, manuellt konstant tryck, konstant temperatur (ett par grader kan vara 10% av flödet), permeatventilerna är öppna 100% och sedan avläser man vilket flöde man får ut. Kemiavdelningen läser av ca 1 gång per vecka och bokför statistiken. Detta kompletteras med dip-slides för att se när det är dags att tvätta.

Följande typ av vatten används vid tvättning och sköljning av membranen:

UF	Tvättar med dejonat eller UF-permeat. Måste ha varmare vatten; tvättar med fjärrvärmevatten (grönt FJV-vatten, pH 9,5), låg buffertförmåga, när man håller i tvättmedlet sjunker pH. Ultrasil 53.
RO	Tvättas inte. Kanske har tvättat någon gång. Låg hårdhet. Får ingen kapacitetsminskning där. Kör kapacitetstest där också. Får inga igensättningar på RO. Har inte behövt byta RO-membran tidigare, men bytte under år 2017.
GTM	Inte några igensättningsproblem.

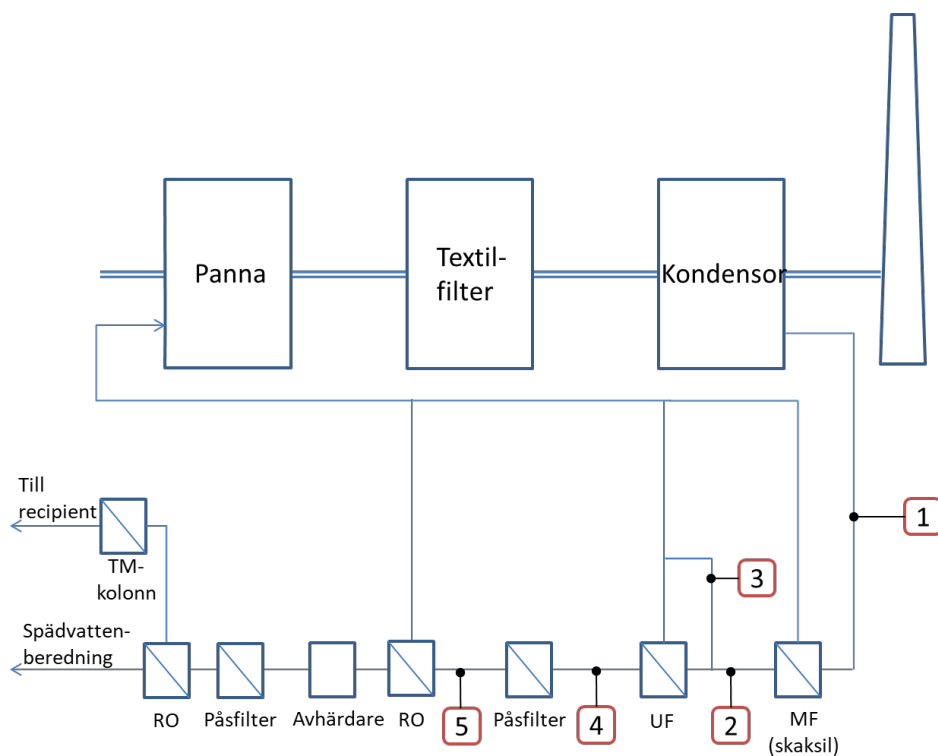
Leverantören av rökgaskondensatreningen är även leverantör av spädvattenreningen. Tanken är att man ska kunna återvinna rökgaskondensatet i spädvattenreningen. Men idag återvinns inget rökgaskondensat utan hela rökgaskondensatflödet släpps efter rening till Östersjön som är recipient. Att man inte återvinner rökgaskondensatet orsakades av problem med EDI:erna och CO₂-avskiljaren på RO-feed (efter UF). Det skulle också vara möjligt att köra den på RO-permeatet och man vet egentligen inte vad som störde EDI:erna. Man kopplar inte dessa problem direkt till mikrobiell påväxt, utan mer indirekt; till hypokloritdosereringen. När hypokloritpumparna var i drift ett tag så steg konduktiviteten efter EDI. Idag har man tagit beslut om att installera UV-lampor, som alternativ till hypokloritdosereringen, och detta kommer att göras under 2018, sannolikt på UF-feed.

5 Strängnäs KVV

5.1 ANLÄGGNINGSPERSONINFORMATION

Datum	2017-04-28
Anläggning	Strängnäs KVV
Kontaktperson	Stefan Karlsson, stefan.karlsson@esem.se
Panna	35 MW, 2008, skakroster, Völund
Bränsle	100% RT (returträ) (klor, metaller, snudd på avfallseldning)
Drifttid	7560 h/år
Rökgasrening	SNCR, textilt slangfilter, kalk och kol
Våt rökgasrening	nej
Ammoniakavskiljning	RO efter UF, ammoniaken går tillbaka till pannan via RO-rejektet
Kondensering, uppfuktare	6 MW, tubkondensor, Radscan Ingen uppfuktare
Kondensatrening	Radscan 2008 MF: skaksil Amcko, filterstorlek 100 – 150 µm Till MF kan man ta in olika vatten. Man kan ta in annat vattenflöde (industrivatten) för att späda ut konduktiviteten som är för hög ibland. UF; Nadir Filtration GmbH, FW50-RVC-FUC1582, Hollow fibers, Cellulose Tri Acetate Filter före RO; påsfilter, 1 µm RO; 1:a (för NH ₃ -avskiljning) Toray, TM720D-400, Cross Linked Fully Aromatic Polyamide Composite, 2:a GE Power "Desal", AG8040F, Thin Film Membrane
Rejektflöden från kondensatrening	MF; mellantank -> pannan UF; mellantank -> pannan RO; mellantank -> pannan Periodvis svårt att spruta in i pannan p g a att det orsakar sämre förbränning. Rejektflödena bör minskas ner.
Tvättvatten	Dejonat från spädvattenrening. Förinstallerad tvättutrustning.
Förbrukat tvättvatten leds till	UF; till pannan, Ultrasil 53 RO; till spillvattennätet, Ultrasil 75, Ultrasil 115
Avsättning för rökgaskondensat	Spädvattenberedning
Problem med påväxt	Tillväxt i skaksil, tankar och ultrafiltrering för rening av rökgaskondensat och "industrivatten". Även efterföljande RO-system påverkas.
Åtgärder mot påväxt	Doserar hypoklorit till 1 ppm relativt flödet till skaksil före UF. Installerat en mätare för fritt klor, leverantör "Christian Berner", "Krypton DES" på UF-permeat. Detta för att inte skada vattenreningen vid överdosering. Spolar rent vattentankar med brandslang och klorerar dem ibland med handspruta.
Indikationer/analysmetoder kopplade till ev. igensättningsproblem	"Dip-slides" från WTW, lämnar till ackrediterat lab (dricksvattenanalys).

5.2 PROCESSBILD



Figur 84. Strängnäs

5.3 ANLÄGGNINGSBESKRIVNING OCH PÅVÄXTPROBLEMATIK

Strängnäs KVV består av en panna med en rökgaskondensering som går att bypassa.

Rökgaskondenseringen har en rökgaskondensatrening som består av;

- Mikrofilter (MF) i form av skaksil
- Ultrafilter (UF)
- Påsfilter
- RO
- Avhärdare
- Påsfilter
- RO där rejektet går till en tungmetallkolonn (TM-kolonn) – en jonbytare som avskiljer tungmetaller. Ingen redundans. Permeatet går till spädvattenberedning.

Av det reade rökgaskondensatet tillverkar man dejonat som sedan används till spädvatten och som tvättvatten när man tvättar membranen i rökgaskondensatreningen.

Problemområdet utgörs av UF, RO-feedtank till RO nummer 2 och RO nummer 2. Tillväxten sker i skaksil, tankar och UF och efterföljande RO-system påverkas. RO-membranen byttes efter två års drift och man har också gått ner i filterstorlek på påsfilter före RO-membranen. Man tror inte att bakterierna kommer från själva rökgaskondenseringen, men att de kan växa till om vattnet får stå stilla en längre tid i kondensatreningen.

Rökgaskondensatreningen får även ta emot ett "industrivatten". Industrivattnet kommer från ett nedklassat vattenverk som ESEM driver. Detta vatten är ytvatten som har gått igenom infiltration av sand och sedan tas det upp ur marken på vanligt sätt. Vattnet blir inte klorerat innan det skickas ut för användning i lokala industrier. Det innehåller låga halter av bakterier, men de växer till då det är varmt i tankar och liknande.

Driftpersonalen har börjat dosera hypoklorit till 1 ppm relativt flödet till skaksil före UF, det tar ned halten bakterier ordentligt. Man har också installerat en mätare för fritt klor på UF-permeatet. Detta för att inte skada vattenreningen genom överdosering av klor.

Man funderar också på att installera en UV-lampa.

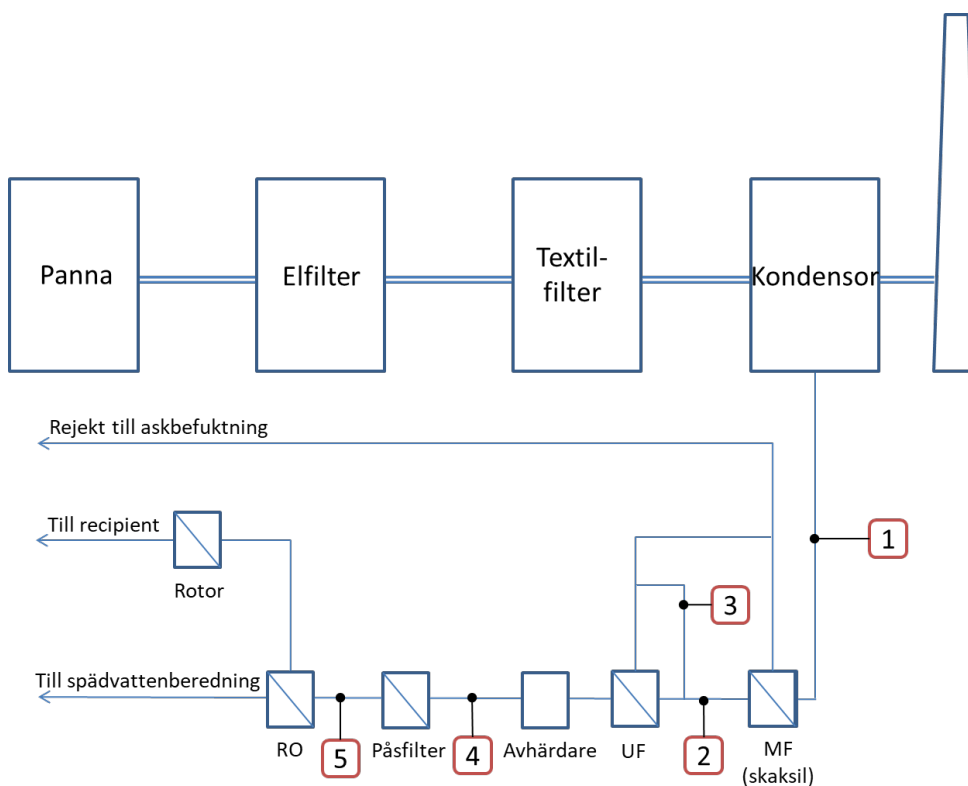
För att följa halten av bakterietillväxt och förhoppningsvis kunna vidta lämpliga åtgärder har man börjat odla bakterier med hjälp av "Dip-Slides". Man fotograferar sedan Dip-Slidsen och arkiverar bilderna.

6 Sävenäsverket

6.1 ANLÄGGNINGSPERSONINFORMATION

Datum	2017-05-10
Anläggning	Sävenäsverket, Göteborg
Kontaktperson	Elisabeth Dahlin
Panna	SÄV HP3, 105 MW installerad tillförd effekt. 2003–2004 byggdes pannan om av Metso. Man byggde då om till biobränsle samt att man även byggde kondenseringen i samband med detta. Driftstart 2004. Före ombyggnaden eldade man tallbecksolja.
Bränsle	GROT, bark, stamved. Mest eldas GROT, men vid uppstart av pannan eldas stamved. Man har inga tillstånd för att elda annat bränsle.
Drifttid	Från oktober – maj.
Rökgasrening	SNCR, elfilter och textiltfilter. Textiltfiltret härstammar från när man eldade tallbecksolja, men idag har man ingen kalkdosering utan kör textiltfiltret utan reagens. Man kan egentligen plocka bort textiltfiltret, men det gör nytta för efterföljande utrustning så det fortsätter att vara i drift.
Våt rökgasrening	Har inte detta.
Kondensering, uppfuktare	RGK 25 MW, tubvärmesväxlare, Fagersta Energetics, driftstart 2004 Även uppfuktare (rotor). Idag sprayas rotorn med RO-rejekt. Första året gick råkondensatet över rotorn, och därefter till skaksil. Då hade man stora bekymmer med igensättningar. Det upptäcktes att man hade stora mängder bakterier.
Kondensatrening	Rökgaskondensatflöde 25 m ³ /h. MF; en skaksil UV-aggregat; som räddar anläggningen från bakterietillväxt UF Azud-filter (lamellfilter som består av plastskivor). Detta är ett grovt partikelfilter som har installerats för att skydda när UF-membranen går sönder på slitage. Det finns en bypass över slangfiltren som gör att det släpper partiklar till kondensorn och vidare till kondenseringen. Då slits UF-membranen sönder. Avhårdare efter UF för att man ska kunna ta in stadsvatten. Påfilter före RO; porstorlek 10 µm RO; pass 1 & 2 Rent rökgaskondensat pumpas till; a) fjärrvärmenätet, b) spädvattenberedningen som består av CO ₂ -membran, EDI (ion-pure) och en blandbädd, c) recipient Sävveån. Man har en turbin som körs på mättad ånga, 13 MW, där bara en del ånga omsätts och man behöver inte fylla på med så mycket spädvatten så det mesta av rökgaskondensatet leds till recipient.
Rejektflöden	MF; till askbefuktning av flygaska som återförs till skogen UF; till askbefuktning av flygaska som återförs till skogen RO; spolar rotorn, NH ₃ -avdriving, till recipient
Ammoniakavskiljning	Man har inga krav på NH ₃ ut i vattnet men rekommendation är <30 mg/l. Rotorn används som ammoniakavdrivare
Problem med påväxt	Ja
Var finns de ev. problemen	Mest UF, men har även fått ökade diffstryck på RO.

6.2 PROCESSBILD



Figur 85. Sävsnäsverket (provtagningspunkter markerade med siffror)

6.3 ANLÄGGNINGSBESKRIVNING OCH PÅVÄXTPROBLEMATIK

2004 driftsattes pannan, kondensorn och rotern efter ombyggnaden. Året därefter, 2005, driftsattes en ny rökgaskondensatrening med Åbyverkets kondensatrening som förlaga. Redan efter ett års drifttid, 2006, fick man problem med diffstrycket över UF. Man fick hjälp ganska snabbt av leverantören eftersom de ändå var på plats i annat ärende. I påsfiltret före RO hittades rosafärgade beläggningar. Då togs bakterieprov första gången och dessa togs på lite olika ställen. Först doserades bara hypoklorit men sedan sattes ett mindre UV-aggregat in.

Fyra år senare, 2010, bytte man UF-membranen. Driftsäsongen innan hade man haft slangfilterproblem och behövt köra UF hårt. Man hade vid den här tiden mycket bakterieproblem och fick även byta massa i avhårdaren för att det var mycket bakterier i denna.

På Sävsnäsverket har man en avhårdare efter UF för att man ska kunna ta in stadsvatten som råvatten för spädvattenberedning. Sävsnäsverket har även testat med råvatten från Sävsnäsån som råvatten, men problemen med humus och bakterier har gjort att man avslutat de försöken. Åvattnet skulle ersätta stadsvattnet för spädvattenberedning.

Även 2014 fick man byta UF-membran eftersom man driftsäsongen före hade haft slangfilterproblem och behövt köra UF hårt även denna gång. Två år senare, 2016, byttes 16 RO-membran, alla i steg 1, ut. Orsaken var antingen påväxt eller

partiklar. Det finns bara provuttag på permeat eller rejekt, efter avhårdarna, så det är svårt att felsöka tillräckligt noggrant för att fastställa orsaken.

2006 sattes ett UV-aggregat in och i början hade man ett med två lampor i (2006) och sedan byttes den till en med fyra lampor i (2007) för att få högre kapacitet.

De tvättar inte UF så ofta eftersom det inte behövs. Kör igång i oktober och gör en tvätt vid jul. Tvättar ibland i feb – mars. Stoppar i maj, då tvättas och konserveras UF. Ultrasil 53.

RO tvättas en gång per år, på sommaren, de är alltid i drift på grund av behovet av påfyllning av fjärrvärmenätet och för spädvattenberedning. Ultrasil 75 (sura), Ultrasil 115 (basiskt).

Tvättning av kondensorn eller rotorn görs inte, men man ska prova att dosera hypoklorit till kondensorn.

Sävenäverket tvättar med RO-permeat som har en temperatur på 20 – 25 grader. Man gör ingen värmning av vattnet inför tvättning.

Man har ingen online-mätning på fritt klor utan tar ut manuella prover och mäter fritt klor i spektrofotometer inne på labbet, där man har färdigt reagenskit för klor. Idag funderar man på att installera en klormätare online.

För uppföljning av mikrobiologisk tillväxt skickar man in prov till externt lab för analys av *Odlingsbara mikroorganismer 22 grader*. Tidigare skickade man även in för att analysera mikrosvampar, men det var bara låga halter. Sävenäverket använder sig inte av dip-slides eftersom man anser att det kräver mer personalresurser.

Följande provpunkter använder man sig av:

- Efter skaksil, före UV. Tidigare varannan vecka. Nu har hypokloriten bytts ut till en annan kemikalie (Kuriverter® IK-110). Då har prover tagits en gång per vecka.
- Efter UV
- UF feedtank
- UF-loopen (UF-cirkulation)
- Efter Azud-filtren, före avhårdare
- Ibland efter avhårdaren
- Någon gång på RO-permeat

Kurita har utvecklat *Kuriverter IK-110* som är ett kontrollmedel för biofilm som skyddar anläggningar från biologisk tillväxt på förbehandlingssystem och membran. Tanken var att kunna bli av med biofilmen och förhindra tillväxt. Man tror att man kan förhindra att de sätter sig i UF feedtank och får fäste där.

Kemiavdelningen följer upp UF-kapaciteten varje dag. Driften ser om difftrycket över UF stiger och får då larm. Det är en långsam stigning av difftrycket, flödet och nivå i UF feedtank.

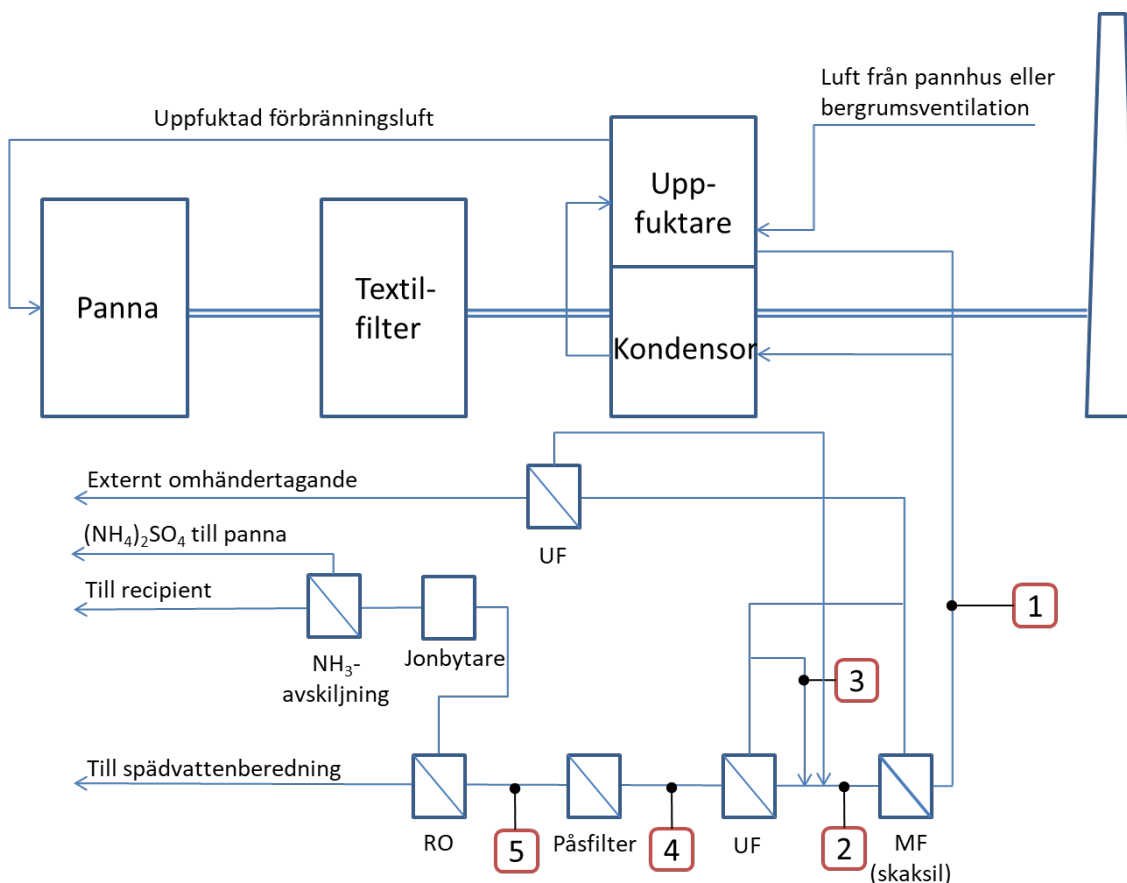
Sävenäverket har utsläppskrav på pH, susp och temperatur och man tar även ut månadsprov för att analysera metaller för sin egenkontroll.

7 Värtaverket KVV8

7.1 ANLÄGGNINGSPERSONINFORMATION

Datum	2017-12-14
Anläggning	Värtaverket, Stockholm
Kontaktperson	Andreas Gunnlev
Panna	KVV8 345 MW
Bränsle	Bark, spån och skogsflis. Koldrift som reservbränsle max 2 - 3 dygn per år.
Drifttid	Från slutet på aug till slutet på maj, ca 6500 h/år.
Rökgasrening	Slangfilter, med bikarbonat och kalk som bara används vid koldrift.
Våt rökgasrening	Nej, skrubberkondensor
Kondensering, uppfuktare	Rökgasen delas upp på 2 st. kondensorer med totalt 85 – 100 MW med en uppfuktare.
Kondensatrening	Allt kondensat samlas i skrubbertanken/skrubberbotten. Ett flöde till kondensatvattenreningen på ca 80 – 100 m ³ /h.
Ammoniakavskiljning	NH ₃ -membran
Problem med påväxt	Ja
Var finns de ev. problemen	Förut var det problem i polisfiltren före RO. Förmodar att det är en konsekvens av mikrobiell tillväxt i UF. Svårt att få igenom flödet genom UF.

7.2 PROCESSBILD



Figur 86. Värtaverket KVV8 (provtagningspunkter markerade med siffror)

7.3 ANLÄGGNINGSBESKRIVNING OCH PÅVÄXTPROBLEMATIK

Pannan på KVV8 har en effekt på 345 MW. Rökgaskondensatreningen är dimensionerad för 120 m³/h. Normalt kör man 80 – 100 m³/h. Av det renade rökgaskondensatet producerar Värtaverket dejonat.

Följande anläggningsdelar har haft problem med mikrobiell tillväxt; uppfuktare, skaksil, UF, påsfiler före RO, RO och jonbytare för tungmetallavskiljning.

Förfiltreringen före UF består av två skaksilar dit rökgaskondensatet leds från kondensorns spolkrets. Skaksilarna bedöms ha överkapacitet. Här renas rökgaskondensatet från partiklar större än ca 100 µm innan vattnet släpps ut i UF feedtank. Skaksilarna rengörs någon gång per vecka. Värtaverket har alltid en del susp i kondensatet och om UF-membranen går sönder så släpper de igenom partiklar till efterföljande utrustning; påsfiler och RO. Påsfiltren före RO har storlek 10 µm.

Vid vissa tillfällen skiftar Värtaverket mellan bränslen och när man skiftar från kol till biobränsle så får man problem i RO. Detta tror de beror på att när de har koldrift så får de ett litet kondensat som är mer uppkoncentrerat och detta belastar

RO på ett annat sätt än vid biobränsleeldning. Numera späder man kondensatet vid koldrift för att mer efterlikna kondensatkvaliteten vid biobränsleeldning.

UF tvättas normalt när man stoppar anläggningen, då man också ska konservera den. Man tvättar även vid driftsättning. Under bergrumsprovet (se nedan), hösten 2017, fick man tvätta två gånger på tre veckor vilket inte är normalt.

RO tvättas när UF tvättas, men också någon extra gång per driftsäsong. Man ser behovet av tvätt när det inte går att hålla undan kondensatmängden genom RO-riggen. En RO-tvätt påverkar inte tillgängligheten, men det gör däremot UF-tvätten eftersom att man måste stoppa hela reningen då UF ska tvättas. Dejonat används som tvättvatten vid tvättning och sköljning av membranen.

När det gäller problematiken på Värtaverket KVV8 är det viktigt att förstå att luften till uppfuktaren kan tas antingen från pannhuset eller från bergrumsventilationen. I bergrummet lagras bränslet (bark, spån och skogsflis). Eftersom KVV8 redan i ett tidigt skede fick problem med igensättningar i rögkaskondensatreningen så har ett idogt felsökande pågått, med bl a provprogram där man har testat att köra med luft antingen från pannhuset eller från bergrumsventilationen. Man vill undersöka om, och i så fall hur stor, inverkan luften från biolagret kan ha på bakterietillväxten. Det finns en teori att den förvärrar problemen med bakterietillväxt.

Säsong 15/16

År 2015 driftsätts KVV8 – en helt ny anläggning. Driftsättningen startade i februari 2016 med diverse driftsättningsproblematik som genast ledde till att man utökade med fler UF-membran. Anläggningen trimmades in. Man hade många tvättar av UF och RO och byte av påsfiltren före RO på grund av mikrobiell påväxt. Beläggningar i påsfiltren före RO syns som rosa beläggningar. Vid höga bakterienivåer sätter dessa igen av slem som är rosa-orangefärgat. Ett annat scenario är att påsfiltren före RO istället blir gråsvarta, vilket tas som tecken på att UF släpper igenom partiklar. Vid den här tiden tog man luft från bränslelagret till uppfuktaren. Problemen försökte åtgärdas med tillgänglig utrustning men med otillräckligt resultat; många stopp av anläggningen krävdes, rengöringen var otillräcklig etc. Följande förbättringar beslöts att genomföras:

- Tvättsystem för uppfuktare.
- Bättre och större dosersystem för hypoklorit.
- UV-aggregat före skaksil.
- Klormätare före UV-aggregat.

Säsong 16/17

UV-aggregat installeras. Den placeras före skaksilarna. Tanken med UV-aggregatet är att UV-ljuset ska döda bakterierna i råkondensatet före reningen.

Hypokloritdosering installeras också, genom att en Cipaxlösning (1 m3-tank och doserpump) för dosering av hypoklorit sätts in. Även en klormätare installeras. Hypoklorit doseras kontinuerligt i spolkretsen och restklor före skaksil bevakas med klormätaren. Den här säsongen startar provdriften och man har inga direkta

bakterieproblem. Denna säsong körs luft från pannhuset till uppfuktaren. Man upptäcker läckage i UF och några av UF-membranen byts ut.

Säsong 17/18

Första delen av eldningssäsongen har löpt utan större problem. Under 2017 har man ytterligare trimmat in hypokloritdoseringen och så länge man har kontinuerlig drift med pannhusluft så fungerar anläggningen bra.

De dagar som man av någon orsak står still med driften så motioneras vattenreningen en gång per dygn med dejonat som fylls på från kondensorn, så att anläggningen sköljs igenom. Man kör 4 – 5 timmar per dag om t ex pannan står still i fem dagar. Allt för att undvika stillestånd då bakterierna skulle få ro att växa till.

Nu har de kört från start i två månader utan att behöva byta påsfilter före RO. Annars, när det är problem, så måste man byta påsfilter bara efter några dagar. Dock har det behövts många backspolningar av tungmetallkolonnerna som sätter igen av någon anledning. Detta visar sig genom att man får ett högt difftryck över jonbytarna. En kaka har bildats i jonbytarmassan som måste hackas sönder manuellt. Jonbytarna används för att rena rejektet från RO innan det går vidare till ammoniakmembranen och sedan släpps till recipient.

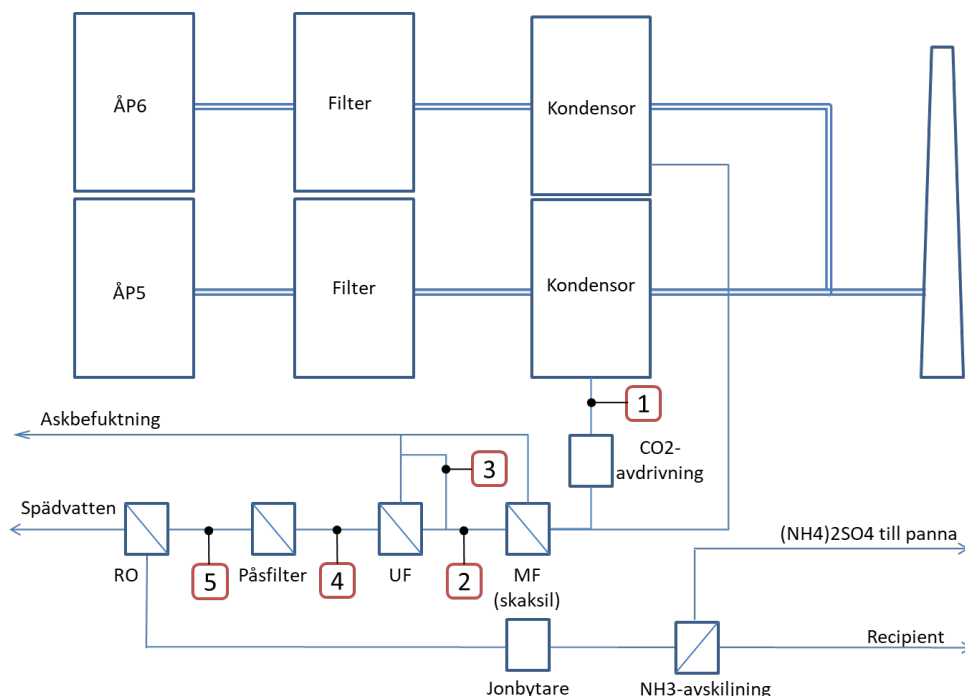
Ammoniakmembranen behöver tvättas någon gång i veckan på grund av att de larmar för högt difftryck. Denna säsong körs luft från pannhus till uppfuktaren förutom under ett tre veckor långt provprogram då man kör med luft från bränslelagret (bergrumsventilationen) i syftet att ta reda på hur denna påverkar den mikrobiella tillväxten i kondensatreningen.

8 Åbyverket

8.1 ANLÄGGNINGSPERSON

Datum	2017-12-07
Anläggning	E.ON Åbyverket, Örebro
Kontaktperson	Mikael Norell
Panna	P4 och HVP1 är rena oljepannor P5; CFB, 170 MW, från 1989 P6; BFB, 70 MW, från 2012 samt tre elpannor för att göra hetvatten och en spetslastanläggning med två 70 MW pannor med olja som reserv
Bränsle	P5; biobränsle (rent vitt trä; 10 % torv och 90 % träflis varav 5–8% kreosotinpregnerad flis). Det går även att elda kol om det behövs. P6; biobränsle (rent vitt trä, bark, GROT)
Drifttid	P6 är en baslastpanna och går helår (aug – juni). Dess rökgaskondensor kommer in lite senare, ungefär i andra halvan av september. P5 kommer in lite senare än P6, ungefär i september och går till maj.
Rökgasrening	P5 -> elfilter -> kondensorn P6 -> textilfilter (ingen reagens, bara ren filtrering) -> kondensorn
Våt rökgasrening	Vattenreningen är utlagd för
Kondensering, uppfuktare	P5:s rökgaskondensor går efter värmebehovet. Utlagd för 30 MW men körs upp till 40 – 50 MW på grund av sänkta returtemperaturer och om det har regnat på bränslehögarna. P6:s rökgaskondensor är utlagd för 16 MW. Ingen uppfuktare någonstans.
Kondensatrening	MF (skaksil, UF och RO)
Rejektflöden	Rejekt från skaksilen går via slamtank till askbefuktning. Rejekt från UF backspolning går till ... Rejekt från RO leds till recipient efter rening.
Problem med påväxt	Nej

8.2 PROCESSBILD



Figur 87. Åbyverket (provtagningspunkter markerade med siffror)

8.3 ANLÄGGNINGSBESKRIVNING OCH PÅVÄXTPROBLEMATIK

P5 och P6 har gemensam rökgaskondensatrening från och med mikrofiltret (MF) som utgörs av två redundanta skaksilar. Bägge skaksilarna tillsammans klarar 90 m³/h, men man kör oftast en i taget. Rökgaskondensatflödet är normalt 40 – 45 m³/h totalt med båda pannorna. Det är två sildukar i varje skaksil. Den första silduken är på 20 mikrometer i maskstorlek och den andra är på 150 mikrometer.

UF steg 1 består av UF1 och UF2. Vardera har fyra membran (totalt 8 membran) och man har flöde på alla åtta membran hela tiden förutom vid backspolning. Kapaciteten är totalt 45 m³/h när membranerna är nytvättade och utan problem.

UF3 ligger parallellt med UF1 och UF2 och startas när man behöver avlasta UF1 och UF2, vid t ex högre belastning av kalcium. I väntan på att användas står UF3 konserverad så länge som möjligt, tills panna 5 går in i september.

Det finns två värmeväxlare (plattvärmeväxlare) före UF. Den första är regenerativ, den andra är en vattenkylare med åvatten från Svartån. Man har installerat en till å-vattenkylare eftersom den första inte kyler tillräckligt. P5 har en koldioxidavdrivare som sänker temperaturen på rökgaskondensatet lite grann. Råkondensat efter skaksil håller ca 40 – 45°C och efter kylarna är det ca 30 – 32°C. UF-membranen tål max 40°C. Kylarna fungerar bra, men är känsliga för å-vatten. Dock inte för något i rökgaskondensatet och man har inga problem med igensättningar på kondensatsidan. Å-vattnet är inte filtrerat utan tas direkt från Svartån.

Lutdosering sker i kondensattanken på P5 på grund av att råkondensatet ligger på pH 3. Detta relativt låga pH orsakas av att man eldar med torv. När det är högre last på pannan doseras mer ammoniak och då ligger råkondensatet på ca 5 – 6. Lutdosering sker även efter P6. Syftet är att få pH 4 – 8 som är ett pH lämpligt för UF-membranen. Lutdosering finns även i UF matartank, som en sista reserv för att skydda UF. UF matarpump är förreglad mot pH.

Påsfiler före RO består av två filterhus med påsar på 10 mikrometer (. Dessa fungerar som ett skydd för RO. Påsarna behöver inte bytas så ofta, ett påsbyte per filter och månad räcker. Ett står standby och det andra är i drift. Det som står standby har man först bytt påse på, fyllt upp med vatten, avluftar och sedan får det stå tills det är dags att använda det, med andra ord när difftrycket blir tillräckligt högt över det som är i drift.

I påsfiltrena före RO syns ofta en beläggning som är rosa-brun-orange. Detta tros vara järn och mangan i rökgaskondensatet. I RO matartank tillförs syre och det sker en oxidation av järn och mangan som sedan täpper igen påsfiltrena med sin beläggning. Det är inte någon kletig beläggning, utan mer som sträva metallsalter. Åbyverket har gjort analyser på järn och mangan i rökgaskondensatet och man har sett samma färg på pH-mätare och konduktivitetsgivare, där det blir liksom en torr oxidbeläggning (saltutfällning).

Sildukar i skaksilarna inspekteras dagligen. Dessa sätter igen när det kommer mycket oförbränt från pannan. Driften bypassar en skaksil och spolar rent denna med brandslang samt gör rent med en svag lutlösning. Man gör rent enligt denna procedur ungefär en gång per vecka i förebyggande syfte.

Backspolning av UF sker var 90:e minut när allt är normalt och man har bra förhållanden i anläggningen. Åbyverket kan minska tiden när de ser att flödet genom UF minskar och nivåerna i UF matartanken stiger, då detta tyder på igensättningar och man bör då backspola oftare. De laborerar dock inte med att förlänga tiden mellan backspolintervallerna för att spara vatten, utan anser att det är bättre att hålla sig till 90-minutersintervaller i förebyggande syfte.

RO består av två separata riggar. I den första riggen finns en 2-steps RO (RO1 och RO2). RO1 består av 8 moduler med totalt 32 membran. RO2 består av 6 moduler med totalt 24 membran. Kapaciteten är totalt ca 50 m³/h. Den andra riggen består av ett steg, RO3, med 8 moduler med totalt 32 membran. Denna rigg klarar av >50 m³/h. RO3 går bara i vissa lägen, då det är ett stort kondensatflöde från bägge pannorna. Normalt totalavsaltas rökgaskondensatet och återanvänds till matarvatten. Vid höga flöden från bägge pannorna kan inte allt rökgaskondensat återanvändas och släpps då till Svartån efter RO3. RO3 ligger parallellt med första RO-riggen. Efter påsfiltren delar sig flödet till RO1 + RO2 alt. till RO3. RO3 kan gå tillbaka till RO2 och också bli spädvatten om man vill.

Rejektet från RO:n går via jonbytare för metallavskiljning. Jonbytarna innehåller engångsmassor som hittills hållit i 8 år. Efter jonbytarna höjs pH till pH 10,5 i NH₃ matartank. Därefter renas RO-rejektet från ammoniak i NH₃-membranen. Ammoniaken bildar sedan ammoniumsulfat tillsammans med svavelsyra, och leds därefter tillbaka till pannorna via bränslelinjerna.

Åbyverket tvättar UF-membranen två gånger per år och då som en planerad tvätt. RO tvättas oftare än UF. En tvätt görs när tryckhållningspumpen inte längre klarar att hålla flödet genom RO-membranen. En RO-tvätt görs 1 – 2 ggr/månad. Man tvättar först med ett basiskt tvättmedel (P Ultrasil 115) och sedan ett surt tvättmedel (P Ultrasil 75). Oftast är det första stråket som behöver tvättas. Totalavsaltat vatten används vid tvättning och sköljning av membranen.

Åbyverket har förändrat hanteringen av backspolningsvattnet efter UF. Backspolvattnet användes till att befukta askan, men eftersom det snabbt fyllde upp slamtanken och åtgången för att befukta askan inte motsvarade de uppkomna volymerna var man tvungen att göra något. För att minska på backspolningsvattnet beslöt man att bara var 10:e backspolning går till slamtank. Nio backspolningar recirkuleras tillbaka till skaksilen och går med rökgaskondensatet in i reningen igen. Innan gick alltså allt backspolvatten direkt till slamtanken som fylldes fortare än vad man hämtade askan.

MIKROBIELL TILLVÄXT I RÖKGASKONDENSATRENINGAR

Syftet har här varit att identifiera rotorsaken till uppkomsten av biologisk tillväxt i rökgaskondensatreningsystem vid kraftvärmeanläggningar. Målet är att skapa förutsättningar för att konstruera bort, eller med andra metoder minska eller eliminera problemen.

Gemensamt för de studerade anläggningarna som har problem med mikrobiell tillväxt och igensättning är att man har försökt att motverka och begränsa problemen med klorering och UV-behandling. Dock är denna utrustning sällan installerad när en rökgaskondensatrening uppförs, utrustning tillkommer ofta i efterhand när problemen börjar synas. Det uppfattas inte möjligt att bygga bort uppkomsten av mikrobiell tillväxt helt och hållet.

Kapaciteten på kondensatvattenreningen kan vara avgörande för om en anläggning upplever problem eller inte. Redundans i systemet i form av marginal på kapaciteten ger möjlighet att hantera en liten mikrobiell tillväxt utan problem, jämfört med anläggningar som saknar redundans. Det betyder att man bör ta hänsyn till en viss biologisk tillväxt vid dimensioneringen av en anläggnings kapacitet så att det finns marginal att hantera detta.

Rekommendationen är också att se till att ha marginal för framtida effekthöjningar på kondensorn. Den ökade mängden kondensat gör snabbt kondensatreningen för liten och marginalen för biofouling, det vill säga mikrobiell tillväxt, och annan försmutsning försvinner.

En regelbunden uppföljning av bakteriehalterna med dipslides samt möjlighet att dosera en biocid, exempelvis natriumhypoklorit, till lagom nivå, vilket säkerställs med klormätning samt UV som basutrustning bör vara grundnivån för en rökgaskondensatrening med membranteknik.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se