



CHALMERS



# Tester och Utvärdering av BactiQuant

## – För analys av bakteriehalter i vattenströmmar hos Göteborg Energi

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet kemiteknik

Amanda Bengtsson Braun

INSTITUTIONEN FÖR KEMI OCH KEMITEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2023  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)

Examensarbete 2023

Tester och Utvärdering av BactiQuant  
- För analys av bakteriehalter i vattenströmmar hos  
Göteborg Energi

AMANDA BENGTSSON BRAUN



**CHALMERS**

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Kemiteknik  
Institutionen för Kemi och Kemiteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2023

Tester och Utvärdering av BactiQuant – För analys av bakteriehalter i vattenströmmar hos  
Göteborg Energi  
AMANDA BENGTSSON BRAUN

© AMANDA BENGTSSON BRAUN, 2023.

Handledare: Elisabeth Dahlin, Göteborg Energi  
Examinator: Henrik Leion, Kemi och Kemiteknik

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Kemiteknik  
Institutionen för Kemi och Kemiteknik  
Chalmers Tekniska Högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Telefon + 46 (0)31-772 1000

Omslag: BactiQuant-instrument

Chalmers digitaltryck, Göteborg, 2023

## **Förord**

Först och främst vill jag tacka Göteborg Energi för möjligheten till ett givande och inspirerande examensarbete, ett examensarbete som är baserat på ett verkligt problem och ger insikt i hur det är att arbeta som kemiingenjör. Jag vill tacka min handledare Elisabeth Dahlin på Göteborg Energi för hennes stöd och vägledning genom projektet, samt övrig personal på Sävenäsverket, Göteborg Energi för deras varma välkomnande. Jag vill även tacka Christian Lauridsen på BactiQuant för att ha tagit sig tid till att hålla utbildning och varit behjälplig med att svara på frågor under projektets gång. Till sist vill jag tacka Henrik Leion som agerat examinator för mitt examensarbete.

Amanda Bengtsson Braun, 2023

Tests and Evaluation of BactiQuant - For analysis of bacteria levels in water streams at  
Göteborg Energi  
AMANDA BENGTSSON BRAUN  
Department of Chemistry and Chemical Engineering  
Chalmers University of Technology

## **Abstract**

Sävenäsverket is one of all Göteborg Energi's facilities around the city. Electricity and heat are produced here with the help of a bio boiler. To make use of the energy contained in the flue gases, these are condensed, and the condensate is further purified. The purification process takes place in several stages with help of different filters and membranes. In recent years, Göteborg Energi has had problems with high levels of bacteria in the flue gas condensate. The bacteria form biofilms, clog parts of the process and destroy filters and membranes. By improving their ability to monitor the bacteria levels, Göteborg Energi would be able to implement faster actions against the bacteria growth. To make this possible, a bacteria sampling instrument has been rented from the company BactiQuant. This instrument has been tested and compared against other analytical methods for bacterial sampling. Partly by sending samples to an external laboratory and partly by growing bacteria on agar plates. Samples have been taken at several test points in the water treatment.

It has been investigated whether it is possible to compare BQW with cfu/ml, how different operating conditions affect bacteria levels, if the instrument provides financial benefits and how the working hours look relative to these. At many test points, no result has been obtained by the BactiQuant instrument. Because of this, it has also been studied if there is anything that can interfere with the analysis.

Since analysis values have not been given in all places, it is difficult to draw a conclusion about how good the instrument really is for Göteborg Energi. It would provide flexibility, better control of bacterial levels and environmental benefits. However, it is not possible to say how relevant the results really are without further studies.

The report is written in Swedish.

Keywords: BactiQuant, Bacteria analysis, flue gas condensate, BQW.

# Innehållsförteckning

|                                                  |           |
|--------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Inledning</b> .....                        | <b>1</b>  |
| <b>2. Syfte</b> .....                            | <b>2</b>  |
| 2.1 Avgränsningar.....                           | 2         |
| <b>3. Bakgrund</b> .....                         | <b>3</b>  |
| 3.1 Göteborg Energi .....                        | 3         |
| 3.2 Bakterieproblem.....                         | 4         |
| 3.3 Bakterierhalter .....                        | 5         |
| 3.4 Fjärrkyla .....                              | 5         |
| 3.5 BactiQuant .....                             | 5         |
| 3.6 Fluorescens .....                            | 6         |
| 3.7 Eurofins.....                                | 6         |
| 3.8 Dipslides .....                              | 6         |
| <b>4. Metod och Material</b> .....               | <b>7</b>  |
| 4.1 Material BactiQuant .....                    | 7         |
| 4.2 Övrigt Material .....                        | 7         |
| 4.3 Analys BactiQuant .....                      | 7         |
| 4.4 Eurofins.....                                | 9         |
| 4.5 Dipslides .....                              | 10        |
| 4.6 Kloranalys.....                              | 10        |
| 4.7 Provtagning.....                             | 10        |
| 4.8 Analysens Riktighet.....                     | 11        |
| 4.9 Enzymsubstrat.....                           | 12        |
| 4.10 Kostnader.....                              | 12        |
| <b>5. Resultat</b> .....                         | <b>13</b> |
| 5.1 Analysresultat BactiQuant/Eurofins/Klor..... | 13        |
| 5.2 Analysresultat Dipslides .....               | 17        |
| 5.3 Analysens Riktighet.....                     | 18        |
| 5.4 Enzymsubstrat .....                          | 18        |
| 5.5 Tidsåtgång.....                              | 19        |
| 5.6 Kostnader.....                               | 19        |
| <b>6. Diskussion</b> .....                       | <b>21</b> |
| 6.1 Tidsåtgång.....                              | 22        |
| 6.2 Kostnader.....                               | 22        |
| <b>7. Slutsats</b> .....                         | <b>23</b> |
| <b>8. Referenser</b> .....                       | <b>24</b> |

|                                                |           |
|------------------------------------------------|-----------|
| <b>9. Bilagor .....</b>                        | <b>25</b> |
| <i>Bilaga 1. Analyserapport Eurofins .....</i> | <i>25</i> |
| <i>Bilaga 2. Offert BactiQuant .....</i>       | <i>26</i> |

## 1. Inledning

På Göteborg Energi är hanteringen av bakteriehalter en naturlig del av den dagliga verksamheten då både fjärrvärme och fjärrkyla baseras på vattenflöden. Dock har de stora problem med höga bakteriehalter i flera delar av reningsprocessen av deras rökgaskondensat på fjärrvärmesidan. Bakterierna förstör filter och membran då de sätter igen delar av processen samt att de näringsför sig på membranerna då dessa är gjorda av cellulosacetat. Göteborg Energi behöver hitta en lösning på problemet och få ner bakteriehalten då det kostar stora summor pengar att byta ut dessa filter och membran. I dagsläget skickas prover in för analys till externt laboratorium, det tar sedan 5–7 dagar att få provresultaten. För att få bättre kontroll över bakteriehalterna kan ett instrument för snabbare bakterieanalys vara aktuellt. På Göteborg Energis fjärrkylanläggningar kontrolleras bakteriehalterna regelbundet och oftast är det inga problem med dessa. Dock är nya regelverk för kylanläggningar på gång i Sverige. Detta medför att det även här hade varit bra med ett instrument för snabbare bakterieanalys. BactiQuant är ett företag vilka säljer instrument för detta ändamål. Det är dock viktigt att testa och utvärdera instrumentet så att det används på rätt sätt, att det ger korrekta värden samt att det går att lita på resultaten. Allt detta behöver också göras för att undersöka om det är en ekonomisk fördel att köpa in ett instrument för bakterieprovtagning [1].

## 2. Syfte

Syftet med projektet är att testa och utvärdera BactiQuant-instrumentet genom att analysera bakteriehalter i vattenströmmar hos Göteborg Energi.

Frågor som ska besvaras under projektet:

- Hur kan man jämföra BQW-värde med cfu/ml?
- Vad är en ”normal” halt av bakterier utan hög påväxt av biofilm?
- Kan man dra slutsatser av klordoseringen/UV med bakteriehalt?
- Kan man med detta dra ner på klordoseringen vid vissa driftfall? Till exempel vid inblandning av stadsvatten.
- Vilka ekonomiska fördelar kan BactiQuant ge? Kan det förlänga livslängd på UF-RO-EDI i relation till vad BactiQuant kostar och hur många arbetstimmar man behöver lägga ner med instrumentet.

### 2.1 Avgränsningar

Projektet fokuserar endast på vissa provpunkter i reningen av rökgaskondensatet på Sävenäverket. BactiQuant-instrumentet kommer inte att testas på fjärrkyllanläggningar då det ej är driftsäsong för dessa. Det har heller inte gjorts någon större studie på om något möjligtvis kan störa analysen eftersom detta inte har rymts inom tidsramen för ett examensarbete på högskoleingenjörnivå.

### 3. Bakgrund

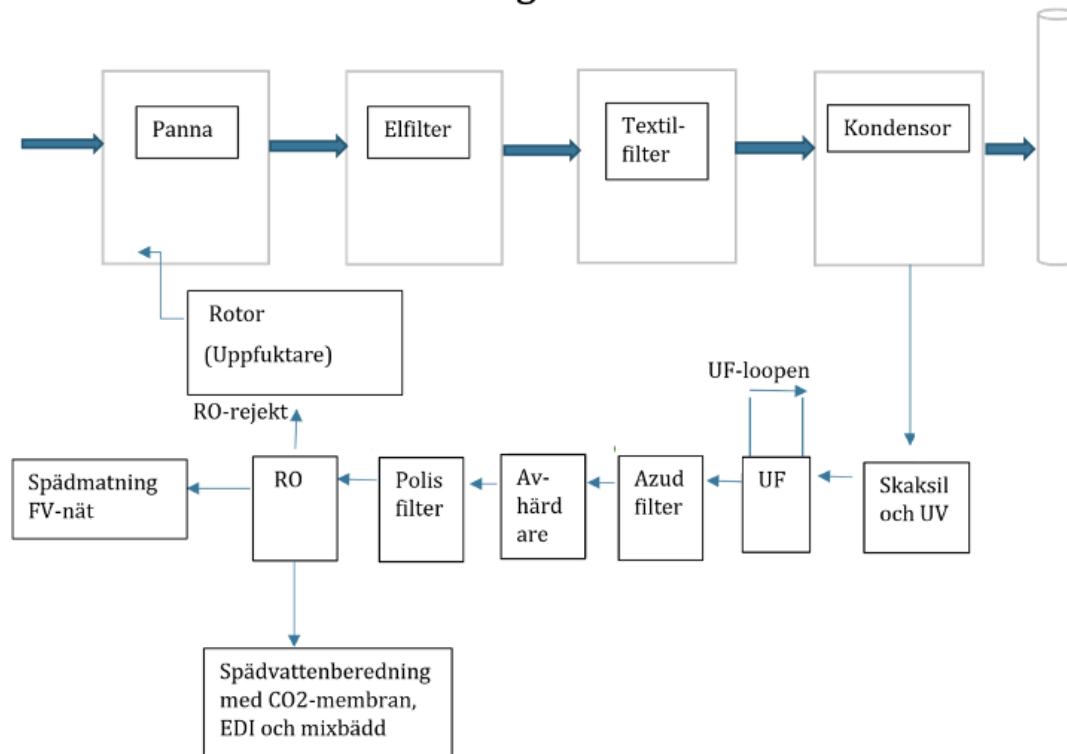
Nedan presenteras en bakgrund om de olika företagen samt om Göteborg Energis bakterieproblem.

#### 3.1 Göteborg Energi

Göteborg Energi är ett företag ägt av Göteborg stad, vilka levererar el och fjärrvärme till verksamheter och hushåll i kommunen. Göteborg Energi har flera anläggningar runt om i staden och en av dessa är Sävenäverket. Här finns en biopanna (HP3) som eldas med restprodukter från skogsindustrin (träflis). Bränslet kan innehålla upp till 50% fukt och vid förbränning försvinner denna fukt ut som vattenånga tillsammans med rökgaserna. 2005 installerades en kondensatrening, detta för att rena rökgaskondensat från pannan för att kunna återföra vattnet till anläggningen som pannvatten och spädmatning till fjärrvärmenätet. Genom att kyla rökgaserna från 140°C till 35°C får man vattenångan att kondensera och på så sätt går det att ta vara på energin [2]. Till pannan doseras ammoniak för att reducera NOx-halten, detta gör att bildas ammonium när rökgaserna kondenseras [1].

Kondensatreningen sker i flera steg (se figur 3.1) och börjar med att rökgaskondensatet går till en kylarspoltank där det sker en pH-justering och sedan vidare till en skaxsil, vilken separerar partiklar från vattnet genom ett mikrofilter. Nästa steg är att avdöda bakterier med hjälp av UV-ljus [2], vilket tränger in i bakteriernas celler och reagerar med dess proteiner. Detta gör att reproduktionen av DNA slutar fungera och bakterierna inte längre kan föröka sig [3]. Vattnet hamnar sedan i en tank (UF-feedtank) där natriumhypoklorit (klor) doseras, även detta för att avdöda bakterier [2], nu genom att bakterien oxideras sönder [3]. Efter det går vattnet igenom ett ultrafilter (UF) som avlägsnar partiklar genom finporiga membran. I nästa steg går vattnet via azudfilter vilka tar bort partiklar och sedan via avhårdare där hårdheten försvinner. Vidare behandlas vattnet med omvänd osmos (RO) vilket innebär att vattnet går igenom ett semipermeabelt membran som med hjälp av en tryckskillnad innanför och utanför membranet kan separera joner från vattnet. Inkommande vatten har en konduktivitet på 300–500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  beroende på driftförhållanden. Jonerna stannar på ena sidan och vattnet passerar ut. Även bakterier stannar på utsidan av membranet eftersom dessa är för stora för att passera. Efter RO är konduktiviteten nere på 20–25  $\mu\text{S}/\text{cm}$  och detta vatten fungerar bra för att spädmata fjärrvärmenätet. Vattnet vilket inte går ut på nätet blir till rejekt eller permeat, rejektet används för att fukta askan och permeatet går vidare till elektroavjoning (EDI), även denna tar bort joner, nu via elektricitet. Konduktiviteten här efter ligger på 0,056  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Det sista steget i vattenreningsprocessen är att vattnet hamnar i en tank med jonbytesmassa där de sista jonerna försvinner och vattnet är nu så rent det kan bli. Här ligger konduktiviteten på 0,054  $\mu\text{S}/\text{cm}$  och kan nu användas för matarvatten till pannan [2].

## Kondensatrening Sävenäsverket



Figur 3.1. Skiss över vattenreningsprocessen på Sävenäsverket.

### 3.2 Bakterierproblem

Strax efter att vattenreningen installerats år 2005 fick Göteborg Energi sina första bakterieproblem i anläggningen. UF-membranen blev helt igensatta av bakterier och biofilm, även i rör och tankar fick de bakterier och biofilm. Detta medförde att anläggningen fick göras rent och alla UF-membranen fick bytas ut vilket var en stor kostnad för företaget. Membranen innehåller cellulosacetat vilket är näring för bakterierna. Om det kommer in bakterier kan de föröka sig snabbt och då göra hål i membranerna så att partiklarna kan passera och då sätta igen nästa steg i processen. Även ammonium vilket finns i kondensatet, fungerar som näring för bakterier [1].

UV-ljus och natriumhypoklorit fungerar bra för att ta död på bakterierna så länge bakteriehalterna kontinuerligt mäts. Problemet är att RO-membranen och EDI:n är känsliga för klor och kan förstöras om klor följer med i processen till dessa steg. Av denna anledning går det inte att dosera klor i för höga doser. Göteborg Energi har fått byta EDI tre gånger sedan 2010, antagligen för att klor har följt med i processen. Företaget kämpar hela tiden med att hålla bakteriehalten nere samtidigt som de behöver hålla klor borta från de sista stegen i reningsprocessen [1].

Idag kontrolleras bakteriehalten genom att vattenprover skickas för analys till Eurofins, vilket är ett externt laboratorium. De odlar bakterierna från det inskickade vattenprovet och det tar ca. 5–7 dagar att få provsvaret. Svaret ges i cfu/ml, alltså hur många bakteriekolonier som finns i vattnet. Problemet med denna metod är att när provsvaret väl kommer så är bakteriehalten förändrad mot vad den var för 5–7 dagar sedan. Bakterier förökar sig snabbt

och redan efter några timmar kan bakteriehalten vara mycket högre än när provet togs ut. Detta resulterar i att åtgärder ofta sätts in för sent [1].

### 3.3 Bakterierhalter

Göteborg Energi sätter idag in olika åtgärder i kondensatreningen vid höga bakteriehalter. I punkten Före UV går det inte att göra något åt bakterierna, utan här kommer de med in i processen från rökgaserna. Om det är höga bakteriehalter i punkten Efter UV, öppnas UV-aggregatet och lamporna rengörs, eller byts om de är trasiga. Helst vill de ha en bakteriehalt på under tio cfu/ml här, men under senare år brukar det ligga runt några 100 cfu/ml. Antagligen beror detta på höga flöden in i systemet och att UV-aggregatet inte riktigt klarar av att ta död på alla bakterier vid så pass höga flöden. I UF-feedtank vill de sätta in åtgärder om bakteriehalten överstiger 1000 cfu/ml. Åtgärder här kan vara att chockdosera med klor under en kort period eller att späda med stadsvatten. I UF-loopen kan bakteriehalten vara något högre, beroende på hur länge sedan den senaste backspolningen skedde. Åtgärder sätts in om bakteriehalten överstiger ca. 3000 cfu/ml. Åtgärder så som att minska tiden mellan backspolningarna eller att stoppa anläggningen och tvätta UF-membranen. För att ha kontroll över bakteriehalten i azudfiltrena tittar de på diffstrycket. Dessa filter byts då och då, nya filter sätts in och de använda läggs i klor i några dagar för att sedan bytas igen. Före RO vill de helst ligga på bakteriehalter runt tio cfu/ml. Här kan anläggningen också behöva stoppas och systemet rengöras vid höga bakteriehalter [1].

### 3.4 Fjärrkyla

Göteborg Energi har flera fjärrkylaanläggningar runt om i staden. På anläggningarna finns flertalet kyltorn vilka kyler det cirkulerande vattnet i systemet. Kyltornen är öppna mot atmosfären vilket gör att bakterier lätt tar sig in. Det är även perfekt klimat för bakterie- och biofilmstillväxt då vattnet har den rätta temperaturen. Med en ökad bakterietillväxt uppstår problem, tex att värmeöverföringen i rör kan minska, vattenflöden kan minska och mikrobiell korrosion kan uppstå. Men framför allt finns risk för tillväxt av bakterien legionella [1]. Bakterien förekommer naturligt i vatten men växer gärna till sig där det redan finns stora mängder mikroorganismer och biofilm. Legionella orsakar sjukdomen legionärssjukan och sprids genom inandning av aerosoler där bakterien förekommer [4]. Kyltorn släpper ut vattenånga och är en möjlig spridare av sjukdomen om inte bakteriehalterna kontrolleras. Idag tillsätter Göteborg Energi biocider för att hålla nere bakterietillväxten i kyltornen. För att kontrollera bakteriehalten och eventuell tillväxt av legionella tar de ut prover på de olika anläggningarna och skickar dessa till externt laboratorium för analys. Det tar lång tid att åka runt till de olika anläggningarna och ta ut prover, samt att det tar 5–7 dagar att få provsvar. Om det finns legionella i kyltornen behöver åtgärder sättas in snabbt så att bakterierna inte växer till sig och sprids med vattenångorna. Just nu pågår en översyn av fjärrkylaverksamheten i Sverige och ett regelverk kommer att införas med avseende på bland annat kontroller av bakterier. Detta gör att Göteborg Energi behöver se över hur man kan snabba på bakterieprovtagningen och minska biociddoseringen [1].

### 3.5 BactiQuant

BactiQuant är ett danskt företag som tillverkar mätinstrument för bakterieprovtagning. Deras produkter går att använda på alla typer av vatten och ger mycket exakta mätvärden. Instrumentet de tagit fram finns både som onlineinstrument som placeras ute på anläggningen och ger värden direkt i datorn, samt som labbinstrument där prover tas ut och analysen sker i laboratorium. Det mäter då antal bakterier och provsvaret ges i BQW, vilket är ett värde framtaget för just BactiQuant-instrumentet. Instrumentet ger oftast svar inom 10–20 minuter,

beroende på hur rent vattnet är och hur stort prov man analyserar. Rent vatten och små volymer prov ger längre svarstid [5].

Enligt BactiQuant [6] motsvarar ett BQW-värde på 10, ungefär 10–100 cfu/ml. Ett BQW på 100 motsvarar 100–1000 cfu/ml och ett BQW på 1000 motsvarar 1000–10000 cfu/ml. Dessa värden har tagits fram genom tester där vattenprover odlats på agarplattor i 48 timmar i 35°C och sedan jämförts med BQW.

BactiQuant använder en unik teknik som är framtagen av Mycometer. Analysen sker i form av en mycket känslig fluorescenssteknologi. Instrumentet mäter enzymaktivitet i bakterier genom fluorescenssignaler, vilka är proportionella mot antalet bakterier i provet. Först filtreras provet genom ett millipore-filter på 0,22 µm, vilket är så pass fint att alla bakterier fastnar i filtret. Sedan låter man en reagens gå igenom filtret och ner i en kyvett för att kunna mäta och läsa av provet i instrumentet. Reagensen består av enzymsubstrat och när det kommer i kontakt med bakteriernas enzymer i filtret frisläpps metylumbellifyl (4-MU) [7].

### **3.6 Fluorescens**

Fluorescens innebär att ett ämne återemitterar ljus som först absorberats av ämnet. Först exciteras atomen till en högre energinivå ( $S_1$ ) genom att fotoner absorberas. Atomen befinner sig här under en kort period och återgår sedan till sitt grundtillstånd igen ( $S_0$ ). Energi avges då i form av en foton med lägre våglängd än det ursprungliga ljuset hade [8].

BactiQuant-instrumentet mäter fotoner vid en våglängd på 445nm. Enzymet 4-MU exciteras vid 365nm [7].

### **3.7 Eurofins**

Eurofins är ett företag som finns i 59 länder i världen över. I Sverige finns de i sex städer och de arbetar med laboratorieanalyser inom flera områden [9]. Göteborg Energi använder sig av Eurofins för mikrobiologiska analyser bland annat. Dessa prover skickas in till Eurofins laboratorium i Jönköping för odling [1].

### **3.8 Dipslides**

Dipslides är ett typ av bakterieprov som består av en liten behållare och en kork där en plastdyna sitter fast och är täckt i agar. Bakterierna odlas på agarplattan genom att den inkuberas i värmeskåp. Dipslides ger endast en uppskattning av bakteriehalten då varje prick motsvarar en koloni [10]. Provet kan sedan läsas av genom att jämföras mot ett diagram där värdet ges i cfu/ml.

## 4. Metod och Material

Nedan presenteras metoden. Först presenteras det material som behövs för utförande av projektet, sedan förklaras alla analysmetoder och till sist provtagning och tillvägagångssätt.

### 4.1 Material BactiQuant

Följande material behövs för att utföra en analys med BactiQuant-instrumentet:

Fluorometer (Själva BactiQuant-instrumentet)

Svart kyvett (För kalibrering)

Standardlösning (För kalibrering)

Steril flaska för vattenprov

Våg

Termometer

Vakuumpump

Sterilt Millipore-filter, 0.22 µm (Finns i analyskit)

Enzymsubstrat (Finns i analyskit)

Steril spruta (Finns i analyskit)

Kyvett (Finns i analyskit)

### 4.2 Övrigt Material

Följande material behövs för att utföra resterande analyser:

Klorinstrument

Reagens

Provtagningsflaskor

Provtagningsflaskor (Eurofins)

Kylklampar (Eurofins)

Kylväska (Eurofins)

Tillgång till bil då prover till Eurofins behöver lämnas in ca. en mil öster om Sävenäsverket.

Dipslides

Värmeskåp

### 4.3 Analys BactiQuant

För att utföra en analys med BactiQuant-instrumentet behöver en applikation laddas ner till en telefon. Vid den första användningen av applikationen behöver det skapas en ny användare samt att det behöver skrivas in serienummer och standardvärde vilka hittas på undersidan av fluorometern.

Instrumentet kalibreras sedan med hjälp av en blank och en kalibreringsstandard som finns med i varje analyskit. När kalibreringen är klar ges ett värde vilket skrivs in i applikationen under uppmätt standardvärde.

Vid varje ny analys skrivs "Chemistry Batch No" in vilket finns angivet utanpå analyskitet, samt rumstemperaturen vilken läses av på en termometer (se figur 4.1). När detta är ifyllt anges hur många prover som ska analyseras. Sedan sätts filtren på ovanpå provflaskorna och flaskorna vägs tillsammans med filtren. Vikten på de fulla flaskorna skrivs in i applikationen. Flaskorna töms sedan genom filtret med hjälp av vakuumpumpen som pumpar ut vattnet ur flaskorna. Flaskorna vägs igen, nu tomma, och vikten skrivs in i applikationen, vilken räknar ut exakt hur stor provmängd som gått igenom filtret (se figur 4.2).

Cancel Preparations Save

CHEMISTRY

Chemistry Batch No. 337

Room Temperature 20,8 °C

CALIBRATION

Standard Value Instrument 538

Standard Value Measured 534

|           |          |           |
|-----------|----------|-----------|
| 1         | 2<br>ABC | 3<br>DEF  |
| 4<br>GHI  | 5<br>JKL | 6<br>MNO  |
| 7<br>PQRS | 8<br>TUV | 9<br>WXYZ |
| ,         | 0        | ⊗         |

< Sessions Session 4 Rename

1 Före UV

61 520 459 ⓘ

2 Efter UV

60 558 498 ⓘ

3 UF-Feed

62 566 504 ⓘ

4 UF-Loopen

62 502 440 ⓘ

5 Före RO

61 536 475 ⓘ

Add Sample

< Sessions Session 4

CONTINUOUS

00:00 234 ⓘ

1 0:03:13 FLU<sub>end</sub> BQ ⓘ

00:00 227 ⓘ

2 0:03:08 FLU<sub>end</sub> BQ ⓘ

00:00 230 ⓘ

3 0:02:30 FLU<sub>end</sub> BQ ⓘ

00:00 229 ⓘ

4 0:01:59 FLU<sub>end</sub> BQ ⓘ

00:00 230 ⓘ

5 0:01:02 FLU<sub>end</sub> BQ ⓘ

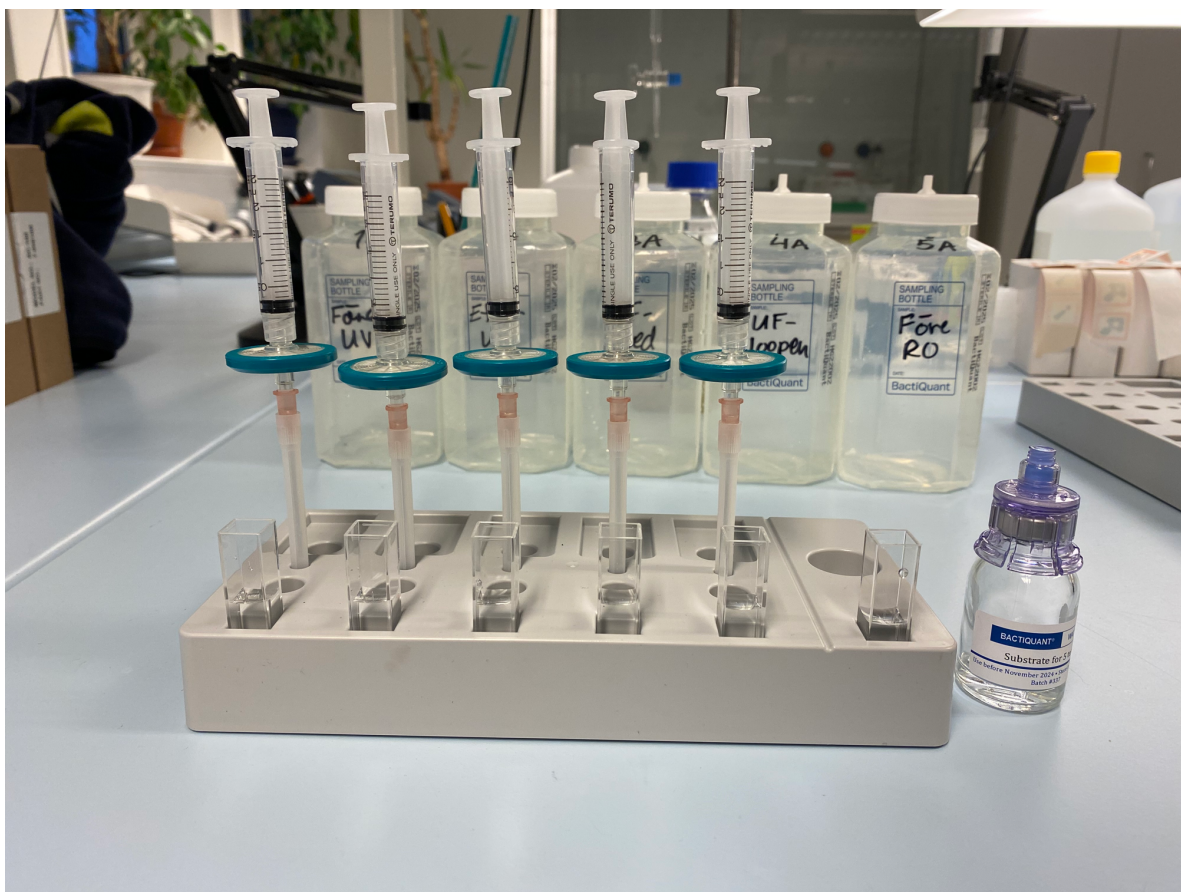
Enter a FLU-start value then swipe right to left on the row to control its timer.

Figur 4.1. Från BactiQuants applikation; förberedelser.

Figur 4.2. Från BactiQuants applikation; vikten på tomma och fulla flaskor för 5 analyser.

Figur 4.3. Från BactiQuants applikation; när analysen och timern startat för 5 analyser.

En spruta fylls sedan med 2.5ml enzymsubstrat, vilken skruvas på filtret och substratet töms ner genom filtret i en kyvett (se figur 4.4). Kyvetten sätts ner i fluorometern och instrumentet ger ett värde vilket skrivs in i applikationen. När analysvärdet skrivs in startar en timer för det specifika provet. För varje prov skrivs ett värde in, och för varje prov startar en timer (se figur 4.3).



Figur 4.4. Från analys. Sprutor tömda genom filtren ner i kyvetterna.

Efter ca. 10–15 minuter stoppas sprutan ner i kyvetten och vätskan sköljs genom filtret tre gånger genom att vätskan dras upp och ner med hjälp av sprutan. Kyvetten sätts sedan ner i fluorometern och ett nytt värde visas, vilket skrivs in i applikationen. Ett värde i BQW visas, vilket anger om det är mycket eller lite bakterier i provet. Resultatet kan ibland visa värden <(mindre än), detta betyder att det inte är tillräckligt med fluorescens i provet. I detta fall får provet stå och reagera i tio minuter till. Detta upprepas tills ett värde ges och när resultatet kommit görs en swipe åt vänster i applikationen och timern stoppas.

BQW räknas ut i applikationen genom följande ekvation:

$$BQW = (\text{Slutvärde} - \text{Startvärde}) * \frac{\text{Filtrerad volym}}{250} * \frac{\text{Reaktionstid}}{30} * \text{Temperatur}$$

När applikationen har gett värden på alla analyser kan dessa enkelt skickas till datorn via mejl. Denna skapar då en fil vilken sedan kan öppnas i datorn där all information om analysen finns tillgänglig.

#### 4.4 Eurofins

Prover tas ut vid valda provpunkter i sterila flaskor, vilka beställs från Eurofins och skickas i väg för analys. Proverna ställs i en kylbox tillsammans med kylklampor och körs sedan till Bergsjön i Göteborg för inlämning. Dessa hämtas sedan av ett fraktbolag som levererar dem till Eurofins laboratorier i Jönköping. Proverna odlas på agar-plattor i tre dygn och provsvar fås inom 5–7 dagar. Provresultatet ges i cfu/ml, alltså hur många bakteriekolonier som finns i vattnet. Det är möjligt att skicka in prover för analys mellan måndag och onsdag.

#### **4.5 Diplides**

Diplides-behållaren fylls med vatten från provpunkten och agardynan doppas ner i vätskan i ca tio sekunder. Vätskan hålls sedan ut och provet skruvas ihop. Proven inkuberas sedan i värmeskåp (36°C) i 48 timmar.

#### **4.6 Kloranalys**

Kloranalysen sker med hjälp av ett bärbart instrument ifrån Hach. Först kalibreras instrumentet med en blank (destillerat vatten). För analys blandas provet med en reagens som är specifik för instrumentet. Provet skakas i 20 sekunder, sedan får det stå och verka i en minut. Provet stoppas ner i instrumentet och avläsning av resultat görs på displayen. Det går att mäta både fritt och totalt klor, under projektet har fritt klor mätts.

#### **4.7 Provtagning**

Projektet började med en utbildning där BactiQuant kom och demonstrerade hur deras analysinstrument fungerar, hur deras app fungerar samt hur analysen utförs. Efter utbildningen påbörjades provtagningen och fem prov togs ut från fem olika provpunkter, Före UV, Efter UV, UF-feedtank, UF-loopen och Före RO (se figur 4.5). Prover togs ut för analys via BactiQuant instrumentet, för analys av klorhalt, för bakterieanalys via Eurofins och även diplidesprover. Vid provtagningen antecknades även driftförhållanden, hur många kubikmeter kondensat som gick in i systemet, hur mycket stadsvatten som gick in, hur hög klordoseringen var, suspensionshalten samt tiden sedan den senaste backspolningen skett. Detta för att undersöka om olika driftförhållanden påverkade bakteriehalterna. Proverna togs med till Göteborg Energis laboratorium och analyser utfördes. Diplides ställdes in i värmeskåp och proverna till Eurofins ställdes kallt för att senare samma dag kunna skickas till Eurofins. De fem ovannämnda provpunkterna användes under den första veckan.

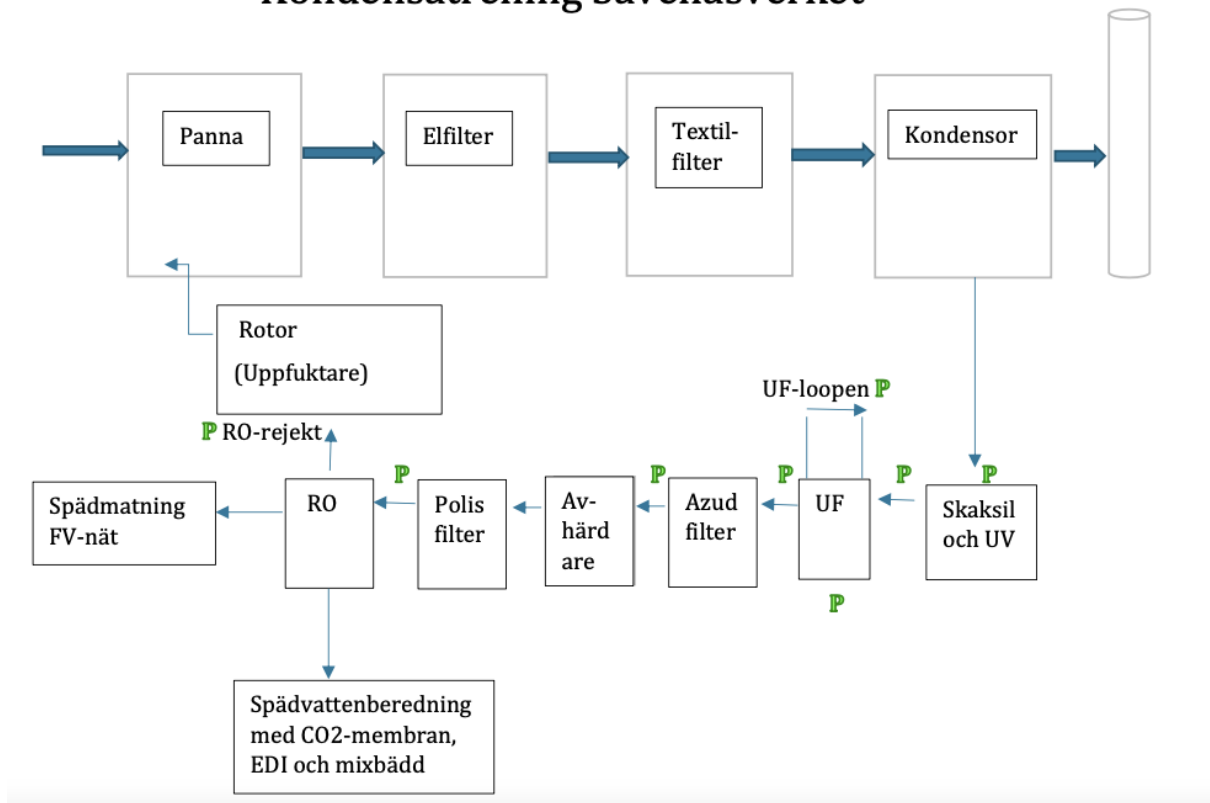
Den andra veckan byttes två provpunkter ut, Före UV och Efter UV byttes mot Före Azud och Efter Azud. Azudfiltren var precis rengjorda och bytta innan provtagning började på dessa provpunkter.

Under den tredje veckan byttes provpunkten UF-loopen ut mot Efter UV. Under denna vecka rengjordes RO-feedtank.

Den fjärde veckan testades två nya provpunkter; RO-permeat och RO-rejekt. Prov på RO-permeat togs endast en dag, medan prov på RO-rejekt togs hela veckan. Slangarna för uttag av prover på provpunkterna Före och Efter Azud byttes under helgen innan provtagningen påbörjades för veckan. Även IBC-behållaren med klor byttes vilket kan ha inneburit att inget klor doserats under några timmar. Under veckan så rengjordes azudfiltren, UF-feedtank och RO.

Under den femte veckan togs prover Efter UV, UF-feedtank, före RO, Före Azud, Efter Azud och på RO-rejektet. Under helgen den fjärde veckan samt under den femte veckan gick pannan på halvlast och mycket stadsvatten gick in i systemet. Ingen ammoniakdosering skedde heller under denna vecka.

## Kondensatrening Sävenäsverket



Figur 4.5. Skiss över vattenreningsprocessen. P- visar var provtagning skett.

När samtliga resultat från alla analyser kommit sammanställdes denna data i tabeller och diagram.

### 4.8 Analysens Riktighet

Misstanke om att något möjligtvis störde analysen med BactiQuant-instrumentet uppstod tidigt och därför har olika metoder för utförandet av analysen testats. Det första som testades var att stänga av klordoseringen under en timme för att sedan ta ut prover och se om resultaten skiljde sig åt från de prover vilka tagits ut under tiden det doserats klor. Detta för att undersöka om klor skulle kunna störa analysen.

Ofta stod proverna i ca. en timme innan analys och för att undersöka att detta inte påverkade, utfördes analysen direkt efter provtagning en av dagarna. Ett annat test var att låta proverna stå i ca. fem timmar innan analys utfördes.

För att kontrollera instrumentets riktighet gjordes analyser på stadsvatten vid två tillfällen ur kranen, där bakteriehalten förväntades vara relativt låg. Prov gjordes även på ögonduschen inne på Göteborg Energis laboratorium där bakteriehalten förväntades vara hög, då vattnet i ledningarna ofta är stillastående i långa perioder.

För att undersöka vilka ämnen rökgaskondensatet innehöll, gjordes ett provuttag ur UF-feedtank, vilket sedan skickades in till Eurofins för analys. Detta för att ta reda på exakta ämnen och vilka mängder av dessa rökgaskondensatet innehöll, samt för att försöka förstå om något av dessa ämnen kan störa analysen. Resultatet från analysen skickades till BactiQuant

för att de skulle kunna svara på om något kunde störa analysen. Med detta skickades även ett vattenprov, också uttaget från UF-feedtank till företaget för att de skulle kunna göra en analys med deras instrument och jämföra resultatet med analyserna som utfördes på Göteborg Energi.

#### **4.9 Enzymsubstrat**

En kontroll gjordes på hur länge ett enzymsubstrat kan vara öppnat utan att tappa sin funktion, då en flaska räcker till fem analyser. För att kunna utföra detta test hälldes en flaska ”developer” ner i en kyvett, denna finns med i alla analyskit. Sedan tas 0.35ml substrat ut ur flaskan med hjälp av en spruta. Substratet hålls ner i kyvetten med developer-vätskan och blandas genom att föra vätskan upp och ner genom sprutan tre gånger. Kyvetten stoppas sedan i flourometern och resultatet läses av. Om instrumentet ger ett värde under 200 är enzymsubstratet godkänt att använda. Detta test gjordes på två olika öppnade flaskor. Den första flaskan öppnades den 19 januari och den andra flaskan öppnades den 24 januari. Det första testet utfördes efter att den första flaskan varit öppnad i ca. två veckor. Totalt gjordes tre test, med en veckas mellanrum.

#### **4.10 Kostnader**

För att göra en kostnadsberäkning har priser tagits fram för UF-membran, RO-membran, klor och IBC. Priser har tagits fram för inköp av BactiQuant-instrumentet samt hur mycket ett analyskit kostar. Beräkningar har gjorts på hur mycket varje analys kostar med BactiQuant jämfört med Eurofins, samt om Göteborg Energi kan göra besparingar genom att förlänga de olika komponenternas livslängd.

## 5. Resultat

Nedan presenteras de resultat vilka uppmäts under projektet.

### 5.1 Analysresultat BactiQuant/Eurofins/Klor

Samtliga mätvärden presenteras i tabellen nedan för de olika provpunkterna. Resultat vilka visar <(mindre än) är inte validerade resultat, ett resultat i BQW fås endast när instrumentet visar ett fast värde. När ett <(mindre än) -värde visas finns möjlighet att vänta i tio minuter och göra om analysen för att då få ett fast värde. Om det fortfarande inte ges ett fast värde kommer ett lägre <(mindre än) -värde visas. De värden som presenteras i <(mindre än) är endast beroende av hur länge analysen pågått. Då värden är <1 har analysen pågått under ca. 1,5 timme medan de analyser med högre <(mindre än) -värden ofta är avslutade tidigare.

Eurofins analyser ger endast svar upp till 5000. >5000 innebär alltså att det kan vara mycket högre halter än 5000.

Ett - för BactiQuant-resultat innebär att något felat med analysen. I de flesta fall har det varit för mycket partiklar i provet, då ges en felkod och inget resultat kan visas i instrumentet. Ett - för Eurofins innebär att inget prov är uttaget detta datum då dessa prover endast skickades in två gånger i veckan. Det samma gäller för klor, när - anges har inget prov tagits ut.

#### Före UV

| Datum      | BactiQuant (BQW) | Eurofins (cfu/ml) | Klorhalt (mg/l) |
|------------|------------------|-------------------|-----------------|
| 2023-01-16 | <3               | -                 | 0.2             |
| 2023-01-17 | <1               | 600               | 0.07            |
| 2023-01-18 | <1               | >5000             | 0.02            |
| 2023-01-19 | <2               | -                 | 0.1             |
| 2023-01-23 | <10              | 2280              | 0.2             |

#### Efter UV

| Datum      | BactiQuant (BQW) | Eurofins (cfu/ml) | Klorhalt (mg/l) |
|------------|------------------|-------------------|-----------------|
| 2023-01-16 | <3               | -                 | 0.0             |
| 2023-01-17 | <1               | 24                | 0.09            |
| 2023-01-18 | <1               | 24                | 0.04            |
| 2023-01-19 | <2               | -                 | 0.2             |
| 2023-01-23 | <9               | 470               | 0.2             |
| 2023-01-30 | <10              | 1360              | 0.3             |
| 2023-01-31 | <10              | 1040              | 0.2             |
| 2023-02-06 | -                | 317               | 0.2             |
| 2023-02-08 | <4               | 450               | 0.1             |
| 2023-02-13 | <9               | 400               | 0.2             |
| 2023-02-14 | <10              | 26                | 0.3             |

**UF-Feedtank**

| <b>Datum</b> | <b>BactiQuant (BQW)</b> | <b>Eurofins (cfu/ml)</b> | <b>Klorhalt (mg/l)</b> |
|--------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|
| 2023-01-16   | <3                      | -                        | 0.2                    |
| 2023-01-17   | 10                      | 2000                     | 0.1                    |
| 2023-01-18   | <1                      | >5000                    | 0.04                   |
| 2023-01-19   | <2                      | -                        | 0.2                    |
| 2023-01-23   | <9                      | 4000                     | 0.2                    |
| 2023-01-24   | <5                      | -                        | 0.2                    |
| 2023-01-26   | <10                     | -                        | 0.2                    |
| 2023-01-30   | <10                     | 620                      | 0.2                    |
| 2023-01-31   | <11                     | 156                      | 0.2                    |
| 2023-02-06   | -                       | 131                      | 0.2                    |
| 2023-02-08   | <4                      | 22                       | 0.2                    |
| 2023-02-09   | <10                     | -                        | 0.2                    |
| 2023-02-13   | <9                      | 8                        | 1.2                    |
| 2023-02-14   | <3                      | 17                       | 0.3                    |

**UF-Loopen**

| <b>Datum</b> | <b>BactiQuant (BQW)</b> | <b>Eurofins (cfu/ml)</b> | <b>Klorhalt (mg/l)</b> |
|--------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|
| 2023-01-16   | <3                      | -                        | 0.2                    |
| 2023-01-17   | 2                       | >5000                    | 0.1                    |
| 2023-01-18   | <1                      | >5000                    | 0.04                   |
| 2023-01-19   | <2                      | -                        | 0.2                    |
| 2023-01-23   | <10                     | >5000                    | 0.2                    |
| 2023-01-24   | <10                     | >5000                    | 0.2                    |
| 2023-01-26   | <10                     | -                        | 0.2                    |

**Före Azud**

| <b>Datum</b> | <b>BactiQuant (BQW)</b> | <b>Eurofins (cfu/ml)</b> | <b>Klorhalt (mg/l)</b> |
|--------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|
| 2023-01-19   | 158                     | -                        | -                      |
| 2023-01-23   | -                       | 101                      | 0.2                    |
| 2023-01-24   | 161                     | 260                      | 0.2                    |
| 2023-01-26   | 20                      | -                        | 0.2                    |
| 2023-01-30   | 15                      | 520                      | 0.3                    |
| 2023-01-31   | 87                      | 940                      | 0.3                    |
| 2023-02-06   | <3                      | 201                      | 0.2                    |
| 2023-02-08   | <4                      | 1680                     | 0.1                    |
| 2023-02-09   | <4                      | -                        | 0.2                    |
| 2023-02-13   | <5                      | 22                       | 0.4                    |
| 2023-02-14   | <3                      | 30                       | 0.3                    |

**Efter Azud**

| Datum      | BactiQuant (BQW) | Eurofins (cfu/ml) | Klorhalt (mg/l) |
|------------|------------------|-------------------|-----------------|
| 2023-01-19 | 57               | -                 | -               |
| 2023-01-23 | 39               | 420               | 0.2             |
| 2023-01-24 | 17               | 1640              | 0.2             |
| 2023-01-26 | 208              | -                 | 0.3             |
| 2023-01-30 | 683              | 920               | 0.3             |
| 2023-01-31 | 352              | 2720              | 0.3             |
| 2023-02-06 | 3                | 450               | 0.1             |
| 2023-02-08 | <4               | 1640              | 0.1             |
| 2023-02-09 | <4               | -                 | 0.2             |
| 2023-02-13 | <5               | 33                | 0.3             |
| 2023-02-14 | <3               | 23                | 0.3             |

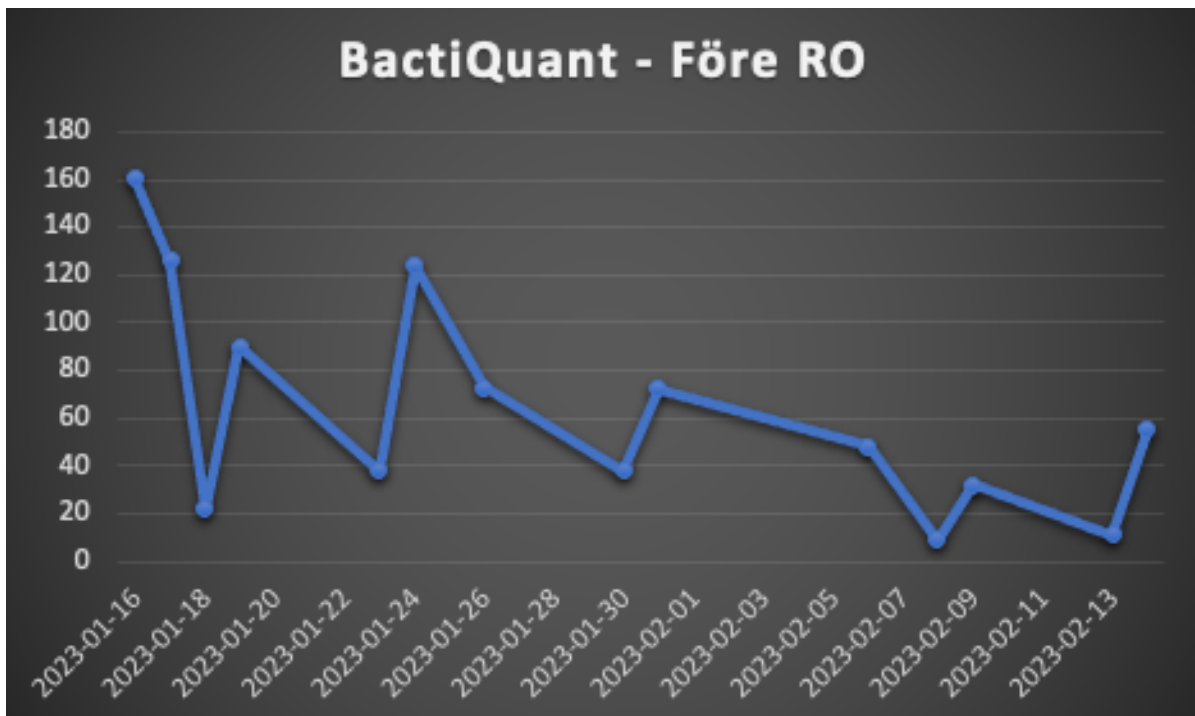
**Före RO**

| Datum      | BactiQuant (BQW) | Eurofins (cfu/ml) | Klorhalt (mg/l) |
|------------|------------------|-------------------|-----------------|
| 2023-01-16 | 161              | -                 | 0.1             |
| 2023-01-17 | 126              | >5000             | 0.1             |
| 2023-01-18 | 22               | 2840              | 0.04            |
| 2023-01-19 | 90               | -                 | 0.2             |
| 2023-01-23 | 38               | 610               | 0.2             |
| 2023-01-24 | 124              | >5000             | 0.2             |
| 2023-01-26 | 73               | -                 | 0.3             |
| 2023-01-30 | 38               | >5000             | 0.3             |
| 2023-01-31 | 72               | >5000             | 0.3             |
| 2023-02-06 | 48               | >5000             | 0.2             |
| 2023-02-08 | 9                | >5000             | 0.2             |
| 2023-02-09 | 32               | -                 | 0.2             |
| 2023-02-13 | 11               | >5000             | 0.3             |
| 2023-02-14 | 55               | 320               | 0.3             |

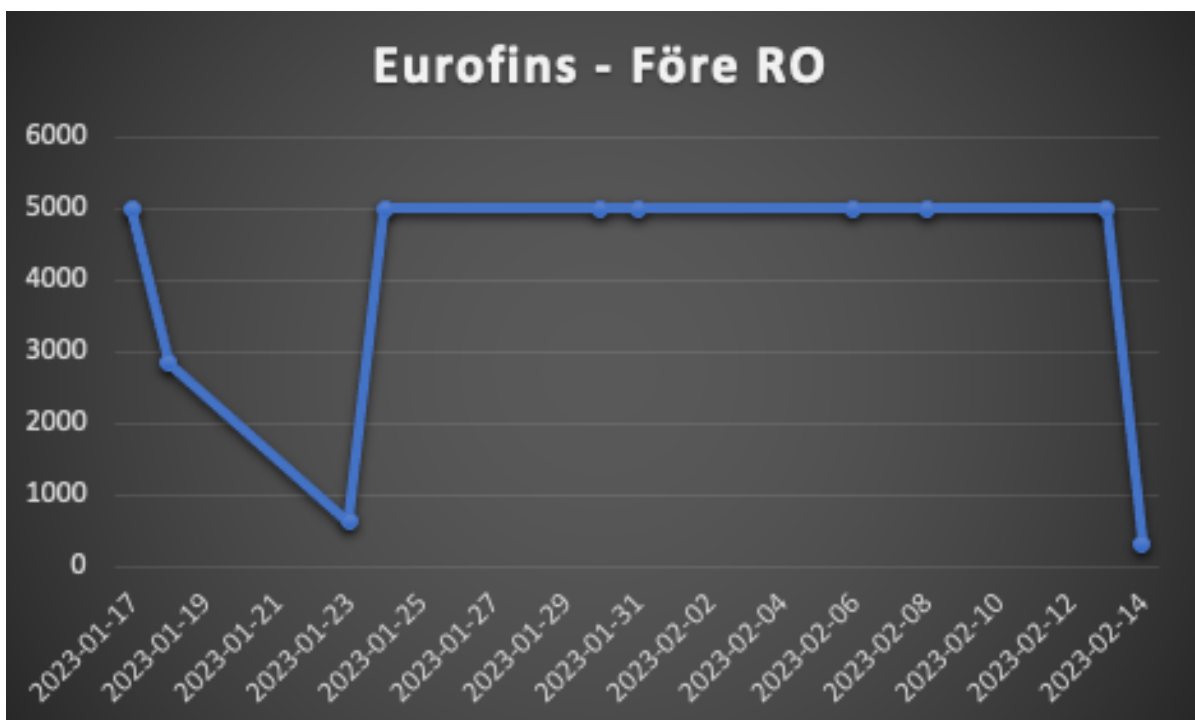
**RO-Rejekt**

| Datum      | BactiQuant (BQW) | Eurofins (cfu/ml) | Klorhalt (mg/l) |
|------------|------------------|-------------------|-----------------|
| 2023-02-06 | 85               | -                 | -               |
| 2023-02-09 | 62               | -                 | -               |
| 2023-02-13 | 30               | -                 | -               |
| 2023-02-14 | 120              | 480               | -               |

Diagrammen nedan visar BQW-värden samt cfu/ml under samtliga dagar. Detta ger en visuell bild över hur resultaten skiljer sig. Diagram är endast framtaget för provpunkten före RO då BactiQuant-resultat för de andra provpunkterna visar <(mindre än) vilka inte är fastställda resultat.



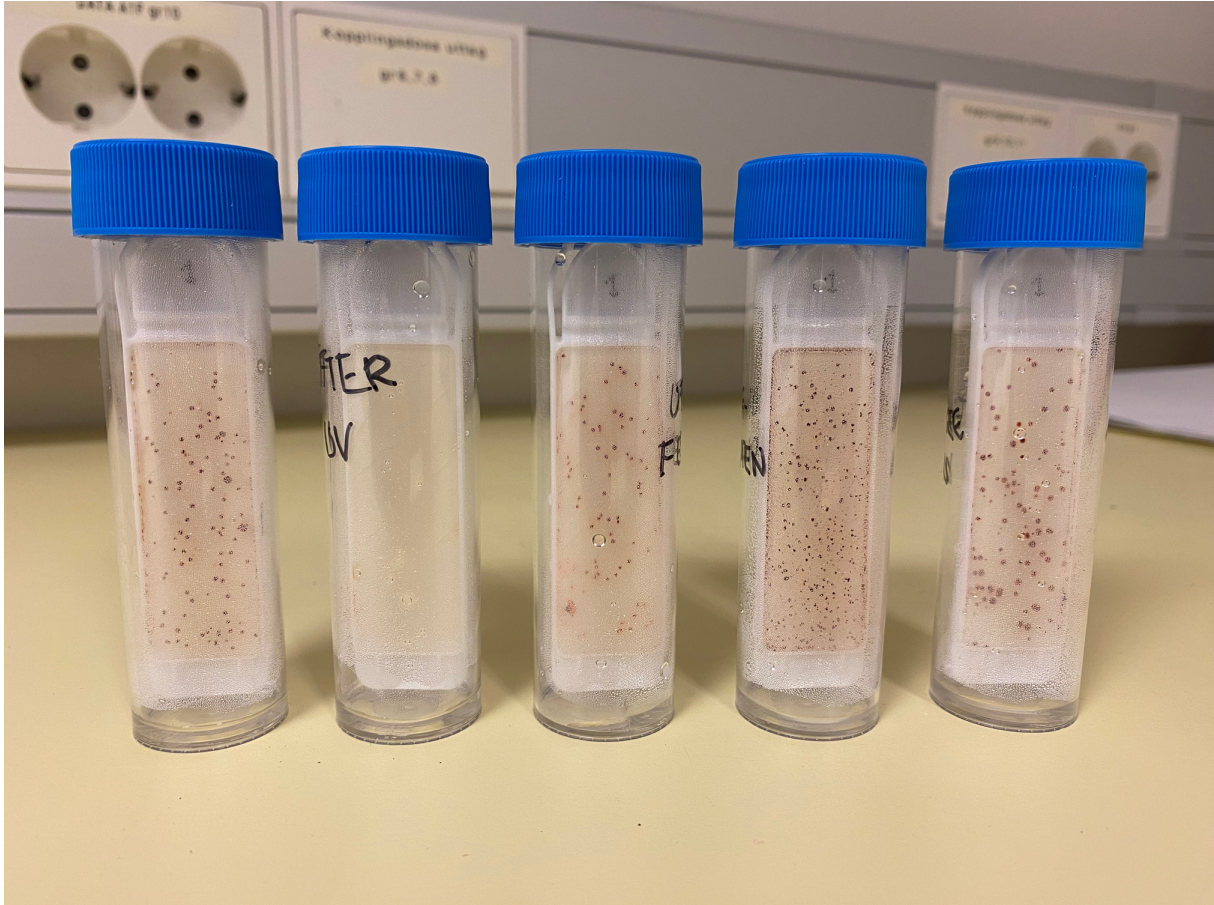
Figur 5.1. Diagram över BQW-värden på provpunkten före RO.



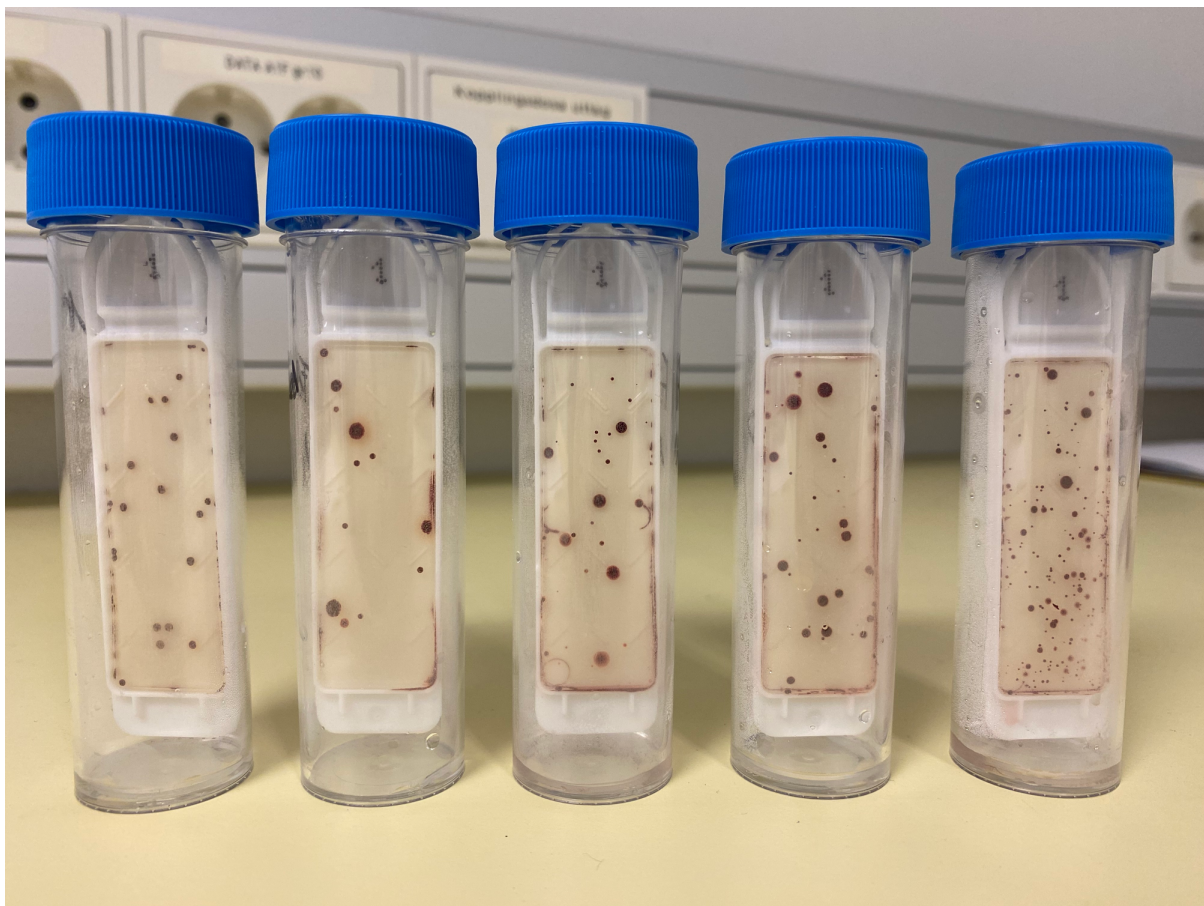
Figur 5.2. Diagram över Eurofins-resultat i cfu/ml på provpunkten Före RO.

## 5.2 Analysresultat Dipslides

Dipslidesproverna visar att det finns bakterier på alla provpunkter, dock inte Efter UV vid det första provtillfället. Utifrån jämförelse och avläsning av diagram för dipslides motsvarar nedanstående resultat (se figur 5.3 samt 5.4) ca. 1 000-10 000 cfu/ml.



Figur 5.3. Dipslidesprover från 2023-01-18. Från vänster: Före UV, Efter UV, UF-feedtank, UF-loopen, Före RO.



Figur 5.4. Dipslidesprover från 2023-01-30. Från vänster: Efter UV, UF-feedtank, Före Azud, Efter Azud, Före RO.

### 5.3 Analysens Riktighet

Inga skillnader i resultat kunde upptäckas vid utförande av analys direkt efter provtagning skett, inte heller efter att man väntat fem timmar. Inga andra resultat kunde heller upptäckas efter att klordoseringen stängts av i en timme.

Analysresultatet på stadsvatten gav 20 BQW vid första tillfället och 28 BQW vid andra tillfället. På ögonduschen blev resultatet 358 BQW.

I analysresultatet från Eurofins där de analyserat vilka ämnen rökgaskondensatet innehåller (se bilaga 1.) syntes förekomster av ammonium och svavel bland annat. BactiQuant svarade att inga av dessa ämnen borde störa analysen. Prov vilket skickades in till BactiQuant gav också ett <(mindre än) -värde. De testade även att odla provet på agarplatta och efter tre dagar hade de inte fått någon bakterietillväxt. Dock efter sex dagar kunde de se en liten påväxt.

### 5.4 Enzysubstrat

Resultaten från de tre testen som utfördes på enzymsubstratet:

| Datum      | BQW (Öppnad 2023-01-19) | BQW (Öppnad 2023-01-24) |
|------------|-------------------------|-------------------------|
| 2023-01-31 | 51                      | 50                      |
| 2023-02-08 | 52                      | 51                      |
| 2023-02-14 | 54                      | 52                      |

Även en nyöppnad flaska testades för att jämföra värdet, denna visade ett BQW på 41. Vid ett värde på 200 anses enzymsubstratet vara förbrukat.

## 5.5 Tidsåtgång

Tiden det tar att utföra fem analyser med BactiQuant-instrumentet är ca. en timme inklusive förberedelser. Det tar 3,5 minuter att tömma en flaska genom filtret via vakuumpumpen och eftersom pumpen endast kan tömma två flaskor åt gången tar det 10,5 minuter för fem flaskor. Analysen kan inte startas i applikationen innan alla flaskor är tömda och vägda, vilket gör att det uppstår väntetid. Resultatet kommer direkt när analysen är utförd.

Att utföra fem analyser via Eurofins tar ca. 45 minuter i arbetstid, beroende på trafik, då dessa lämnas med bil i Bergsjön, Göteborg. Provsvarret kommer 5–7 dagar senare. I båda fall tillkommer arbetstiden för att gå upp i anläggningen och ta ut prover.

## 5.6 Kostnader

Nedan följer en tabell med kostnader för inköp av komponenter i systemet vilka kan behöva bytas ut i samband med bakterietillväxt, samt material för att utföra analyser.

| Komponent                   | Kostnad (kr) |
|-----------------------------|--------------|
| RO-membran                  | 7 000        |
| UF-membran                  | 90 000       |
| EDI                         | 220 000      |
| Natriumhypoklorit (1000 kg) | 10 000       |
| Hyra IBC-behållare          | 800kr/mån    |

| Material              | Kostnad (kr) |
|-----------------------|--------------|
| BactiQuant-instrument | 40 000       |
| Analys (BactiQuant)   | 210          |
| Analys (Eurofins)     | 129          |

Göteborg Energi byter membran ungefär var 3–4 år. De har 16 stycken RO-membran vilket ger en kostnad på 112 000 kr för att byta ut alla. De har sex stycken UF-membran och det kostar 540 000 kr att byta ut dessa. Om beräkningen sker utifrån en teknisk livslängd på 3,5 år beräknas det att ett RO-membran kostar 2 000 kr/år och ett UF-membran 25 714 kr/år. För EDI:n blir det en kostnad på 62 857 kr/år. Ett antagande har gjorts om att livslängden kan förlängas med ett år om Göteborg Energi hittar en metod för att snabbare kunna mäta bakteriehalten. Genom att förlänga livslängden på komponenterna med ett år skulle kostnaderna för ett RO-membran bli 1 555 kr/år, 20 000kr/år för ett UF-membran och 48 888 kr/år för EDI:n. Detta gör att Göteborg Energi sparar 55 373 kr genom att byta ut komponenterna ett år senare. Detta innebär en årlig besparing på 12 305 kr.

Natriumhypokloriten på 1000 kg räcker i ungefär tre månader, på ett år blir detta 40 000 kr plus en hyra på 9 600 kr/år. Om Göteborg Energi hade kunnat minska klordoseringen med hjälp av BactiQuant-instrumentet hade en IBC-behållare möjligtvis räckt en månad längre. Detta innebär att de skulle spara 10 000 kr/år i klordosering.

Då BactiQuant-instrumentet kostar 40 000 kr i inköp skulle detta återbetala sig inom 1,6 år beräknat på ovanstående besparingar. Enligt BactiQuant så finns det instrument som har gått i 14 år utan några problem, den tekniska livslängden kan då antas vara längre än tio år.

Kostnaden för att utföra analyserna, beräknat på att Göteborg Energi tar ut prover vid två provpunkter en gång i veckan och skickar in till Eurofins, är 13 416 kr/år. Motsvarande

prover med BactiQuant kostar 21 840 kr/år beräknat utifrån en offert på analyskit för 50 prover (se bilaga 2). Detta är en skillnad på 8 424 kr/år.

Totalt sparar Göteborg Energi 13 881 kr/år utifrån ovanstående beräkningar.

## 6. Diskussion

Tidigt i projektet noterades att BactiQuant-instrumentet inte gav några värden på vissa provpunkter. Under den första veckan var det endast på provpunkten Före RO där resultat kunde visas. Eftersom instrumentet inte givit värden på de andra provpunkterna i rökgaskondensatet är det inte säkert att dessa värden går att lita på. Tester har utförts på stadsvatten från både kran och ögondusch och här ger instrumentet relevanta värden utifrån vad BactiQuant själva angett. Detta visar på att instrumentet fungerar som det ska och att det går att använda på denna typ av vatten. Varför det inte fungerar på rökgaskondensatet är svårbedömt. Antagligen är det något ämne i kondensatet som stör analysen. En teori är att något ämne reagerar med enzymerna i substratet i stället för att reagera med bakterierna. När instrumentet sedan mäter enzymaktiviteten i bakterierna, kan ingen aktivitet upptäckas.

Kontakt med företaget har förekommit, dock utan vidare framgång gällande om något skulle kunna störa analysen. Ett prov skickades till BactiQuant från UF-feedtank för att ge dem möjlighet att undersöka om det fanns några problem med provet. Deras prov visade också <(mindre än), men de såg inget konstigt med det. De provade att odla provet på agarplatta, efter tre dagar kunde de inte se någon bakterietillväxt, men efter sex dagar kunde de se en liten tillväxt. Problemet med detta prov är att det antagligen inte var speciellt mycket bakterier i UF-feedtank just denna dag eftersom det under ett antal dagar innan provet tagits ut, gått in en hel del stadsvatten då pannan gått på halvlaster. Detta medför att bakterietillväxten i systemet minskar. Eurofins analysresultat från denna dag visar också på låga bakteriehalter, endast 17 cfu/ml i provpunkten. Jämförs detta med diplidesprovet som togs ut den 18 januari Efter UV så syns ingen bakterieväxt, denna dag gav Eurofins ett resultat på 24 cfu/ml. Alltså ger så pass låga bakteriehalter ingen direkt tillväxt på agarplattor, vilket stärker teorin om att det inte var speciellt mycket bakterier i kondensatet denna dag.

Jämförs trenderna från Eurofins och BactiQuant på provpunkten före RO går det inte att se något samband. BactiQuant själva säger att det finns ett samband mellan cfu/ml och BQW men i resultatet syns det att BQW-värdet ofta är lågt medan Eurofins analysresultat ofta ger höga bakteriehalter. Detta visar att Göteborg Energi inte bör förlita sig på BQW-värden i rökgaskondensatet. Utifrån ett lågt BQW kanske de då skippar att sätta in åtgärder, men egentligen har de en hög bakteriehalt och åtgärder behövs sättas in.

En teori vilken kan motsätta att det finns något i rökgaskondensatet som stör analysen, är att på provpunkterna Före och Efter Azud blev resultatet fasta BQW-värden fram tills att slangarna för provtagningen byttes. Slangarna var inte bytta på ett tag och ofta stod det stillastående vatten i dessa då det var svårt att tömma dem på vatten. Antagligen satt det mycket bakterier inuti slangarna och ibland gick det även att se hur partiklar från slangarna lossnade och hamnade i proverna. Men om något i rökgaskondensatet skulle störa analysen bör det även ha stört innan slangarna byttes. Både diplides-prover och Eurofins resultat visar att bakterier fanns i kondensatet både innan och efter att slangarna byttes. I dessa resultat syntes det inte att bakteriehalten gick ner efter att slangarna byttes. Bakteriehalten gick dock ner den sista veckan, troligtvis beror det på att pannan gick på halvlaster och stadsvatten gick in i systemet under ett par dagar. Detta medför också en effektivare bakterieavdödning från UV-aggregatet.

Ett alternativ för Göteborg Energi skulle kunna vara att installera ett till UV-aggregat före RO för att få ner bakteriehalten innan RO-membranen. Utifrån resultaten ser det ut som att klorret förbrukas tidigt efter dosering då det är låga värden i alla provpunkter. Detta är bra för membranens livslängd, dock är det i stället höga bakteriehalter här vilket inte är bra för

membranens livslängd. Före RO är den punkt där det är viktigt att bakteriehalterna är låga, men i stället är de ofta höga enligt Eurofins analysresultat. En dag, den 13 februari, går det se ett högre klorresultat på 1,2 mg/l i UF-feedtank. Denna dag är det också väldigt låga bakteriehalter här, endast 8 cfu/ml. Vid azudfiltren är det också låga bakteriehalter, men även låga klorhalter. Detta visar på att klorret hinner förbrukas någonstans innan dessa filter och vid RO är bakteriehalterna höga igen. En högre klordosering hade behövts för att få en effektivare bakterieavdödning. Genom att i stället installera ett till UV-aggregat hade man kunnat få ner bakteriehalten utan att höja klordoseringen.

### **6.1 Tidsåtgång**

Tidsåtgången skiljer sig inte speciellt mycket mellan de olika analysmetoderna. I båda fall behöver Göteborg Energi ta ut prover i provtagningsflaskor. Att köra och lämna prover till Eurofins tar ungefär 45 minuter och att göra en analys med BactiQuant tar ungefär en timme beräknat på fem analyser. Det mest tidskrävande med BactiQuant är att tömma flaskorna genom vakuumpumpen samt väntetiden vilken uppstår mellan att provet läses av första och sista gången. Vad de kan göra för att få ner tiden för analysen, är att köpa en större pump. Då skulle möjlighet finnas att tömma alla fem flaskor samtidigt och därmed spara tid.

Tidsåtgången är relativt beroende av hur många prover som ska analyseras och hur många flaskor pumpen kan tömma samtidigt. Gällande väntetiden när analysen utförs, finns möjlighet att utföra andra arbetsuppgifter under tiden. Eftersom varje prov är kopplat till en timer i applikationen i telefonen gör det ingenting om provet står längre än tio minuter, då applikationen räknar ut BQW utefter den tid provet har stått. Detta gör att personalen på Göteborg Energi kan vara mer flexibel med sin arbetstid jämfört med om de skickar in prover till Eurofins.

### **6.2 Kostnader**

Sett till kostnader utifrån tidigare beräkning, gör Göteborg Energi inga större besparingar på att köpa in ett instrument. Möjligtvis finns chansen till att få ner priset per analys om de köper fler analyskit än för 50 prover. Analyskiten har en lång hållbarhet vilket gör att det går att köpa in flera samtidigt utan att de ligger och passerar sina bäst före datum. Detta gör det möjligt att få ner priset likvärdigt mot det Eurofins tar per analys.

Fördelen är att Göteborg Energi kan vara mer flexibla genom att de kan ta ut prover alla dagar i veckan och på så sätt snabbare sätta in åtgärder mot bakterier. Detta gör att de även kan minska doseringen av klor i vattenreningen samt minska på biocider i fjärrkylsystemen. Ur ett kostnadsperspektiv sparar de in relativt lite pengar. Den stora vinningen är framför allt att de minskar på kemikalier, vilket är bra både ur miljösynpunkt och för personalen vilka hanterar kemikalierna.

## 7. Slutsats

Utifrån BactiQuant själva går det att jämföra BQW-värde med cfu/ml, där 10 BQW motsvarar 100 cfu/ml, 100 BQW motsvarar 1000 cfu/ml etcetera. Dock är detta inget som går att bekräfta utifrån resultatet i studien, vilket gör att det inte säkert går att fastställa huruvida dessa värden kan jämföras med varandra. En normal halt av bakterier angett i BQW bör vara under 100 i punkten Före RO och om värdet överstiger detta bör åtgärder sättas in. I UF-loopen och i UF-feedtank är det svårare att fastslå vad en normal bakteriehalt är. Göteborg Energi vill ligga på ett värde under 3000 cfu/ml i UF-loopen och under 1000 cfu/ml i UF-feedtank. Detta motsvarar BQW-värden mellan 100–1000. Översätts detta tillbaka till cfu/ml innebär det halter mellan 100–10000 cfu/ml. Utan värden från BactiQuant-instrumentet i dessa provpunkter är det svårt att avgöra vad en normal bakteriehalt är här. På provpunkten Efter UV innebär normala bakteriehalter under 100 BQW.

UV-aggregatet verkar effektivt mot bakterier vid låga flöden men avdödningen minskar något vid högre flöden. Det går att observera ett samband mellan ökande bakteriehalter och ökande flöden. Hur mycket bakterier natriumhypoklorit avdödar är svårt att dra en slutsats om eftersom doseringen är kontinuerlig och resultat ofta visar låga klorhalter. Vid inblandning av stadsvatten bör klordoseringen kunna minskas, då det tydligt observerats att bakteriehalterna blir lägre när stadsvatten går in i processen.

För Göteborg Energi rekommenderas inte BactiQuant-instrumentet i dagsläget. Detta eftersom analysresultaten är osäkra samt att instrumentet inte heller ger några större fördelar ekonomiskt. Dock kan det finnas andra fördelar med att köpa in ett instrument, exempelvis ger det mer flexibilitet och bättre kontroll över bakteriehalter. Det är en fördel att verktyget är bärbart eftersom det då går att använda i båda driftsäsongerna på fjärrvärme/fjärrkyla och att det inte är kopplat till en specifik provpunkt. Instrumentet bör dock studeras vidare innan ett sådant inköp sker. Det behöver undersökas närmare om det är något som stör analysen eller vad uteblivna värden beror på i rök-gaskondensatet. Om det går att komma fram till vad som stör analysen, behöver man undersöka om det går att undvika detta, samt att få instrumentet att ge relevanta värden. Instrumentet behöver också testas på fjärrkylavatten för att validera riktigheten på instrumentet i dessa flöden. Ett förslag är att använda ett liknande tillvägagångssätt, baserat på denna studies utformning.

## 8. Referenser

- [1] E. Dahlin, Privat kommunikation, Jan. 2023.
- [2] ”Miljörapport 2021,” Göteborg Energi, Göteborg, Sverige, 10-2022-0032, 2021. [Online]. Tillgänglig: <https://www.goteborgenergi.se/Files/Webb20/Kategoriserad%20information/Informationsmaterial/Milj%C3%B6rapporter/2021/S%C3%A4ven%C3%A4s%20MR%202021.pdf?TS=637852767243731256> Hämtad: 2023-01-19
- [3] U. Eriksson, ”Råd och riktlinjer för UV-ljus vid vattenverk,” Svenskt Vatten, Stockholm, Sverige, 2009. [Online]. Tillgänglig: <https://www.svensktvatten.se/globalassets/dricksvatten/rad-och-riktlinjer/rad-och-riktlinjer-for-uv-ljus-vid-vattenverk-dec-2009.pdf> Hämtad: 2023-01-27
- [4] Folkhälsomyndigheten, ”Objektburen smitta – Legionella,” 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/vagledning-om-smitta-fran-objekt-och-djur/legionella/> (Hämtad: 2023-03-13).
- [5] BactiQuant, ”Products,” 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://bactiquant.com/products> (Hämtad: 2023-01-20).
- [6] *Monitor and take control of the water quality in the production chain from raw water to the end use*, Birkeröd, Danmark: BactiQuant, 2012.
- [7] *Attain Microbiological Quality and Biological Stability in Water: Detect, Assess and Respond*, Florida, USA: Mycometer, 2008.
- [8] J. Marshall, S. Johnsen, “Fluorescence as a means of colour signal enhancement,” *The Royal Society*, vol. 372, nr. 1724, Jul. 2017, doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0335>
- [9] Eurofins, “Om oss,” 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://www.eurofins.se/om-oss/> (Hämtad: 2023-02-17).
- [10] Dip-slides, ”What are microbiological dip-slides?,” 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://dip-slides.com/content/11-what-are-microbiological-dip-slides> (Hämtad: 2023-02-17).

## 9. Bilagor

### Bilaga 1. Analysrapport Eurofins



**Eurofins Water Testing Sweden AB**  
Box 737  
531 17 Lidköping

Tlf: +46 10 490 8110  
Fax: +46 10 490 8051

Göteborg Energi AB  
Elisabeth Dahlin Zanders  
Box 53  
401 20 GÖTEBORG

**AR-23-QI-010614-01**

**EUSELI2-01108083**

Kundnummer: SL8429527

Uppdragsmärkn.  
360961

### Analysrapport

| Provnummer:                      | <b>177-2023-01241322</b> | Ankomsttemp °C Mikro | 9                |                              |     |
|----------------------------------|--------------------------|----------------------|------------------|------------------------------|-----|
| Provbeskrivning:                 |                          | Ankomsttemp °C Kem   | 5                |                              |     |
| Matris:                          | Övrigt förorenat vatten  | Provtagningsdatum    | 2023-01-24       |                              |     |
| Provet ankom:                    | 2023-01-24               | Provtagare           | Elisabeth Dahlin |                              |     |
| Utskriftsdatum:                  | 2023-02-06               |                      |                  |                              |     |
| Analyserna påbörjades:           | 2023-01-24               |                      |                  |                              |     |
| Provmärkning:                    | UF-feed                  |                      |                  |                              |     |
| Provtagningsplats:               | Sävenäverket             |                      |                  |                              |     |
| Analys                           | Resultat                 | Enhet                | Måto.            | Metod/ref                    |     |
| Odlingsbara mikroorganismer 22°C | <b>&gt;5000</b>          | cfu/ml               |                  | SS-EN ISO 6222:1999          | c)  |
| Lukt, styrka, vid 20°C           | <b>ingen</b>             |                      |                  | Intern metod                 | a)* |
| Lukt, art, vid 20 °C             | <b>ingen</b>             |                      |                  | Intern metod                 | a)* |
| Turbiditet                       | <b>0.15</b>              | FNU                  | 40%              | SS-EN ISO 7027-1:2016        | a)* |
| Färg (410 nm)                    | <b>&lt; 5.0</b>          | mg Pt/l              | 25%              | SS-EN ISO 7887:2012, metod C | a)* |
| pH                               | <b>6.9</b>               |                      | 0.2              | SS-EN ISO 10523:2012         | a)  |
| Temperatur vid pH-mätning        | <b>22.1</b>              | °C                   |                  | SS-EN ISO 10523:2012         | a)* |
| Alkalinitet                      | <b>99</b>                | mg HCO3/l            | 10%              | SS EN ISO 9963-2:1996        | a)  |
| Konduktivitet                    | <b>44</b>                | mS/m                 | 10%              | SS-EN 27888:1994             | a)  |
| Klorid                           | <b>8.4</b>               | mg/l                 | 10%              | SS-EN ISO 10304-1:2009       | a)  |
| Sulfat                           | <b>73</b>                | mg/l                 | 20%              | ISO 15923-1:2013 Annex G     | a)  |
| Fluorid                          | <b>&lt; 0.20</b>         | mg/l                 | 25%              | ISO/TS 15923-2:2017 Annex C  | a)* |
| COD-Mn                           | <b>3.1</b>               | mg O2/l              | 45%              | SS-EN ISO 8467:1995 mod      | a)* |
| Ammonium                         | <b>31</b>                | mg/l                 | 20%              | ISO 15923-1:2013 Annex B     | a)  |
| Ammoniumkväve (NH4-N)            | <b>24</b>                | mg/l                 | 20%              | ISO 15923-1:2013 Annex B     | a)  |
| Fosfat (PO4)                     | <b>0.21</b>              | mg/l                 | 15%              | ISO 15923-1:2013 Annex F     | a)  |
| Fosfatfosfor (PO4-P)             | <b>0.070</b>             | mg/l                 | 15%              | ISO 15923-1:2013 Annex F     | a)  |
| Nitrat (NO3)                     | <b>0.49</b>              | mg/l                 | 20%              | ISO 15923-1:2013 Annex C     | a)  |
| Nitratkväve (NO3-N)              | <b>0.11</b>              | mg/l                 | 20%              | ISO 15923-1:2013 Annex C     | a)  |
| Nitrit (NO2)                     | <b>8.2</b>               | mg/l                 | 15%              | ISO 15923-1:2013 Annex D     | a)  |
| Nitrit-nitrogen (NO2-N)          | <b>2.5</b>               | mg/l                 | 15%              | ISO 15923-1:2013 Annex D     | a)  |
| NO3/50+NO2/0,5                   | <b>&gt;1.0</b>           | mg/l                 |                  | ISO 15923-1:2013             | a)  |
| Hårdhet                          | <b>&lt; 0.050</b>        | °dH                  |                  | Beräkning (Ca+Mg)            | b)* |
| Natrium Na (end surgjort)        | <b>51</b>                | mg/l                 | 20%              | SS-EN ISO 17294-2:2016       | b)  |

#### Förklaringar

Laboratoriet/laboratorierna är ackrediterade av respektive lands ackrediteringsorgan. Ej ackrediterade analyser är markerade med \*

AR-003v61

Mätosäkerheten, om inget annat anges, redovisas som utvidgad mätosäkerhet med täckningsfaktor 2. Mätosäkerheten kan anges som avvikelse i % (+/-) av redovisad halt eller i absoluta tal (+/-) av redovisad halt. Angiven mätosäkerhet visas i samma enhet som resultatet om inget annat anges. Undantag relaterar till analyser utförda utanför Sverige kan förekomma. Ytterligare upplysningar samt mätosäkerhet och detektionsnivåer för mikrobiologiska analyser lämnas på begäran.

<: mindre än, >: större än. Bakteriologiska resultat angivna som <1, <50 etc betyder "ej påvisad".

Sida 1 av 2

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utförande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Resultaten relaterar endast till det insända provet såsom de har mottagits.

## Bilaga 2. Offert BactiQuant

# BactiQuant

Göteborg Energi AB  
Elisabeth Dahlin  
Kvibergsbroväg 5  
Box 53  
415 05 Göteborg  
Sweden

BactiQuant A/S  
Blokken 75  
3460 Birkerød  
Denmark

**Quote: 1378**

Page 1 / 1

**Customer** D02600  
**VAT Registration No.** SE556100983701

**Document Date** 15-02-23  
**Payment Terms** 14 days net

**Delivery terms** CPT

**Validity Date**

| No.   | Description                             | Quantity | Unit  | Price  | Amount (EUR) |
|-------|-----------------------------------------|----------|-------|--------|--------------|
| 12010 | 50 assays (packaged in increments of 5) | 1,00     | Piece | 865,00 | 865,00       |
| 13500 | Sampling bottle 500ml                   | 50,00    | Piece | 1,80   | 90,00        |
| 13520 | Sampling bottle adapter (single use)    | 50,00    | Piece | 0,50   | 25,00        |

**Subtotal** 980,00

Sales Tax Amount 0,00

**Total (EUR)** 980,00

**Dvs. 19,6 EUR /analys / SEK 210,-**

**Delivery Address:**  
Göteborg Energi AB  
Elisabeth Dahlin  
Kvibergsbroväg 5  
Box 53  
415 05 Göteborg  
Sweden



Phone No. : +45 69884000 | Home Page : [www.bactiquant.com](http://www.bactiquant.com) | VAT Registration No. : 24231712 | Bank Name : Danske Bank | Bank  
Account No. : 4316 13128073 | DKK - IBAN : DK7530000013128073 | EUR - IBAN: DK4030004316151426 | USD - IBAN:  
DK1830004316151434 | SWIFT Code : DABADKKK

INSTITUTIONEN FÖR KEMI OCH KEMITEKNIK  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**