



# CHALMERS

---



*Raffinaderianläggningen på PREEM Lysekil.*

## Vattenrening på PREEM Lysekil: Åtgärder för fortsatt låga utsläpp

Thomas Grahn, Anna Lidén, Robin Front  
Elin Johansson, Robert Jensen, William Phung

Handledare: Derek Creaser (Chalmers), Annika Utgenannt (PREEM)  
Jesper Bengtsson (PREEM)  
Examinator: Claes Niklasson  
Kurskod: KBTX10-17-12  
Datum: 12 maj 2017

## **Förord**

Genomförandet av detta kandidatarbete skulle inte varit möjligt utan hjälp från alla de medarbetare vi varit i kontakt med på PREEMs raffinaderi i Lysekil. Vi vill speciellt tacka våra handledare Annika Utgennant och Jesper Bengtsson för att de givit oss resurser som gjort projektet möjligt. En drivande kraft i uppstarten av projektet har varit Helena Kristensson som även tagit väl hand om oss under våra besök på raffinaderiet. Sist men inte minst vill vi tacka Linnea Lundh och Kassam Abdel Mallak som stått ut med alla våra frågor i tid och otid.

### Sammanfattning

Syftet med denna rapport är att identifiera driftavvikelser som sker i WWT (*vattenreningsverket*), föreslå möjliga åtgärder för att öka stabiliteten i WWT, och därmed reducera risken för utsläpp via avloppsvattnet på PREEMs raffinaderi i Lysekil.

För att få förståelse kring hur vatten används på raffinaderiet genomfördes en litteraturstudie och intervjuer med anställda på PREEM. Studien inkluderade även kartläggning av strömmar in till WWT.

Tre mindre driftavvikelser studerades och gemensamt för alla tre fall var att orsaken till driftavvikelsen verkade vara förhöjda kvävehalter och sulfidhalter i råoljan. På grund av de förhöjda halterna orsakades störningar i denitrifikationsprocessen i WWT. Fyra åtgärder föreslogs för att reducera risken för utsläpp till den närliggande fjorden, Brofjorden. En åtgärd är att ha en online-analysator för att mäta kvävehalt efter avsaltarna, och då kunna späda vattenströmmen om en förhöjd halt noteras. En annan åtgärd är att mäta kvävehalten i råoljan för att på förhand kunna förutse förhöjda halter senare i processen och WWT. Att introducera en ny metod för denitrifikation i ASU (*Active Sludge Unit*) är en tredje åtgärd. Utanför syftet av rapporten uppstod en annan möjlig åtgärd, vilken skulle innebära recirkulation av det renade vattnet ut från WWT.

Av de fyra föreslagna åtgärderna anses åtgärden att analysera råoljan vara den enklaste att implementera, såväl som den minst kostsamma.

### Abstract

#### **Wastewater treatment at PREEM Lysekil: Actions for retained low emissions**

The objective of this report is to identify operating anomalies that occur in the WWT (*Wastewater treatment*), suggest possible actions to increase the stability of the WWT, and in turn reduce the risk of emissions via the wastewater at PREEM's oil refinery in Lysekil. A literature study and interviews with staff members at PREEM was done to gain an understanding of the water use at the refinery. The study also included mapping of the streams going into the WWT. Three minor operating anomalies were studied and in all cases the source of operating anomalies seemed to be increased levels of nitrogen and sulfides in the crude oil. This led to disturbances in the denitrification process in the WWT. Four actions were proposed to reduce the emissions to the nearby gulf, Brofjorden. One action is to measure the level of nitrogen after the desalters and dilute the water stream if an increase of nitrogen is noticed. Another action would be measuring the nitrogen in the crude oil to anticipate higher levels of nitrogen going in to the process and later WWT. A third action would be to introduce a new method for denitrification in the ASU (*Active Sludge Unit*). Outside the objective of the study another possible action emerged which would be recirculating part of the clean water going out from the WWT. To analyze the crude oil seems to be the easiest of the four suggested actions to implement, as well as the least expensive.

# Innehåll

i	Förkortningslista	i
1	Inledning	1
2	Vattenrening på oljeraffinaderi	1
2.1	Survattnets väg . . . . .	3
2.2	Avsaltare . . . . .	4
2.3	Avloppsutjämningsstankar . . . . .	5
2.4	Kemisk rening . . . . .	5
2.5	Biologisk rening i ASU . . . . .	7
2.5.1	Rening med bioslam . . . . .	7
2.5.2	Biologisk kväverening . . . . .	7
3	Metod	9
3.1	Kartläggning . . . . .	9
3.2	Störande halter av ämnen och dess effekt . . . . .	9
3.3	Åtgärder . . . . .	10
3.3.1	Kostnadsberäkningar . . . . .	10
4	Kartläggning, driftavvikelser och åtgärder	11
4.1	Kartläggning . . . . .	11
4.2	Driftavvikelser . . . . .	14
4.2.1	Fall 1 . . . . .	15
4.2.2	Fall 2 . . . . .	20
4.2.3	Fall 3 . . . . .	25
4.3	Åtgärder . . . . .	29
4.3.1	Kvalitetskontroll av råolja . . . . .	29
4.3.2	Mätpunkter . . . . .	30
4.3.3	Förändring i ASU . . . . .	30
4.3.4	Recirkulation . . . . .	31
5	Diskussion	33
5.1	Kartläggning . . . . .	33
5.2	Driftavvikelser . . . . .	33
5.3	Åtgärder . . . . .	35
6	Slutsats	36
	Referenser	38
A	Kostnadsberäkning förändring i ASU	a
B	Bidragsrapport	b

## i Förkortningslista

Tabell 1: Förkortningar som används i rapporten.

Förkortning	Förklaring
AA	Aminsystem
API	Atmospheric Petroleum Interceptor
ASU	Active Sludge Unit
BA	Barlastvatten
BOD	Biological oxygen demand
CEPCI	Chemical Engineering Plant Cost Index
CPF	Coiled Pipe Flocculator
DA	Dagvatten
DAF	Dissolved Air Flotation
DN	Denitrifiering
FFU	Flotation Flocculation Unit
NI	Nitrifiering
OS	Olja som innehåller en del vatten
RWT	Raw Water Treatment
SA	Sanitetsvatten
SO	Processvatten/Tvättvatten
SV	Survatten
TPF	Tilted Plate Flotation
WWT	Wastewater Treatment

## 1 Inledning

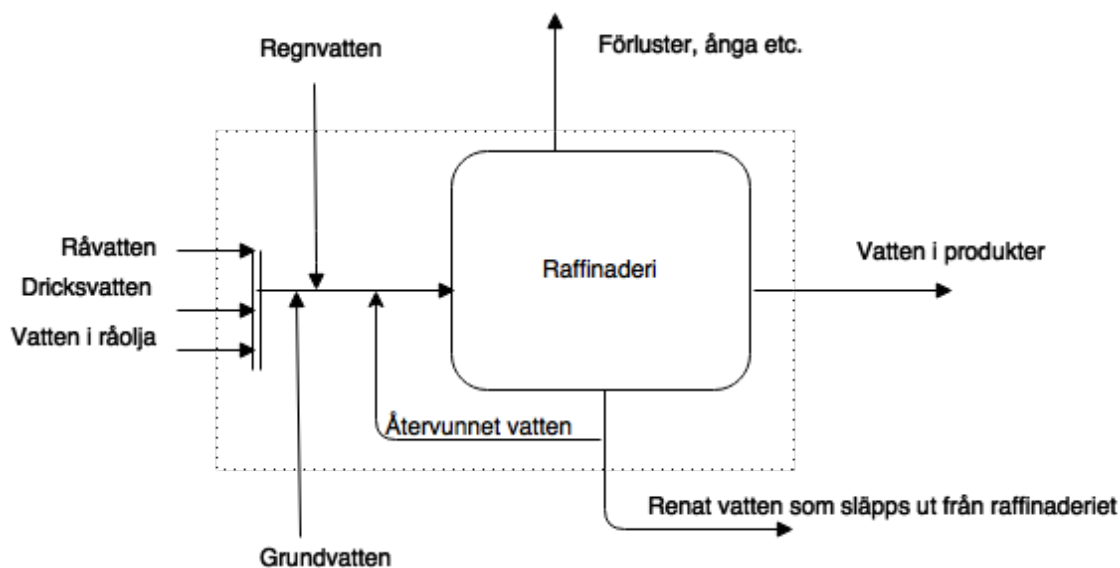
Dagens samhälle är beroende av petrokemisk industri. En viktig del av denna industri utgörs av oljeraffinaderier, som från råolja bland annat producerar drivmedel. Dock bidrar oljeraffinaderier till miljöfarliga utsläpp och för att minska dessa utsläpp ställer myndigheter hårda miljökrav gällande tillåtna utsläpp. PREEMs raffinaderi i Lysekil möter i dagsläget myndigheternas miljökrav gällande tillåtna utsläpp, men arbetar målmedvetet för att minska utsläppen ytterligare. Dels för att kunna möta framtida hårdare krav, men även för att värna om miljön i närområdet.

Utsläpp från raffinaderiet sker både till luft och vatten. Fokus i detta kandidatarbete ligger på utsläpp till vatten, vilka kan uppstå om vatten förorenas i olika delar av processen. Rapporten kommer i synnerhet att behandla WWT (*vattenreningsverk*), eftersom största delen av vattnet som används på PREEM går dit. WWT är sista utposten innan utsläpp till Brofjorden. Mindre driftavvikelser som i dagsläget förekommer i processen resulterar i varierande halter av föroreningar i processvattnet in till WWT. Dessa kan i sin tur leda till att driften i WWT störs och kan innebära en risk för ökade utsläpp.

Kandidatarbetet syftar till att identifiera problem som uppstår vid vattenrening och föreslå åtgärder för att öka stabilitet i driften av WWT och därmed minska risk för utsläpp till Brofjorden.

## 2 Vattenrening på oljeraffinaderi

På ett raffinaderi som det i Lysekil behandlas råolja i råoljeanläggningen där den först destilleras och på så sätt delas upp i ett antal fraktioner. De olika fraktionerna bearbetas därefter vidare i olika anläggningar, vilka har olika syften beroende på vilken fraktion som behandlas. Många av anläggningarna behöver vatten för tvättning och kylvatten för värmeväxling som i huvudsak utgörs av råvatten taget från ett vattendrag. Vidare finns det en mängd potentiella vattenströmmar som kan komma in till raffinaderiet i form av grundvatten och som orenheter i råolja, men även via regn och dricksvatten till personalen. En vattenbalans för detta komplexa system kan ses i figur 1.

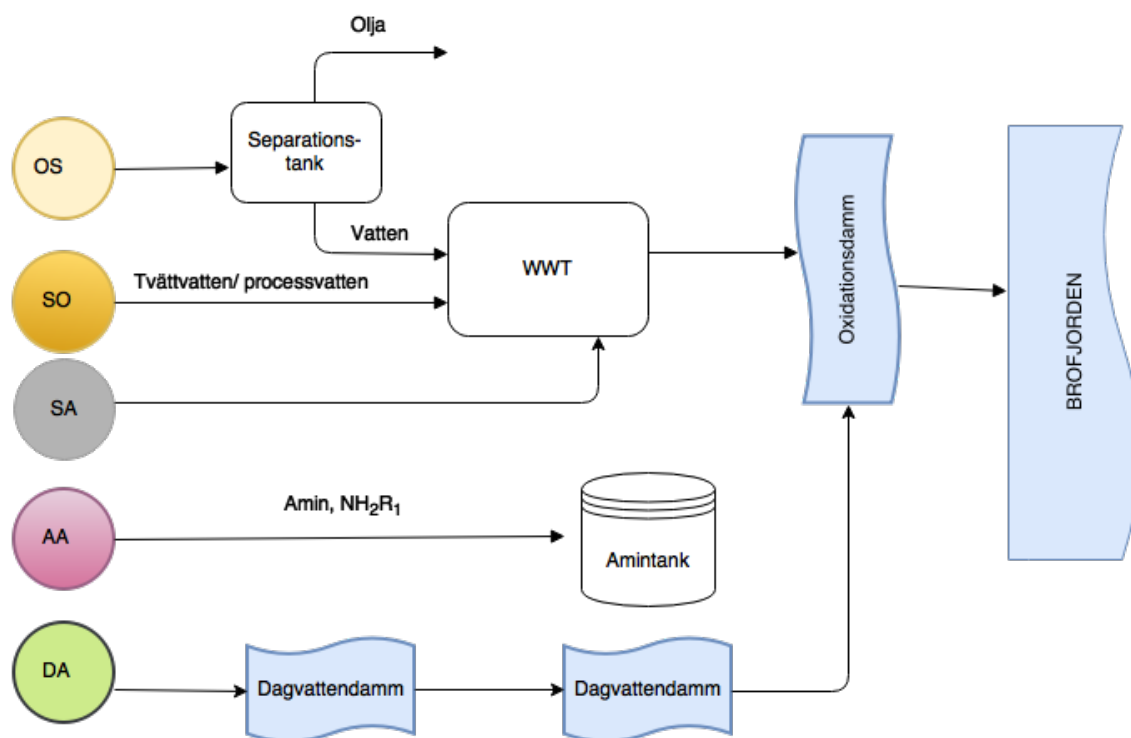


**Figur 1:** Vattenbalans för ett raffinaderi likt PREEM i Lysekil [1]. Återgiven med tillstånd.

Huvuddelen av det vatten som släpps ut från raffinaderiet på PREEM går genom WWT, vilket i huvudsak består av fem delsteg; separationstank, FFU (*Flotation Flocculation Unit*), ASU (*Active Sludge Unit*), sedimentationstank samt oxidationsdamm. Efter att vattnet passerat alla steg släpps vattnet ut i den närliggande fjorden, Brofjorden. Som i alla processanläggningar kan det förekomma störningar i produktionen och ibland kan det få följdverkningar i form av ändrade förhållanden i vattnet in till WWT. Ändrade förhållanden som stör balansen i WWT är oönskade eftersom det kan resultera i att vattenreningen inte fungerar tillfredställande [2].

På PREEM i Lysekil används ett system med flera olika vattenströmmar för att minska flödet genom WWT. Vid sidan av de strömmar som går till WWT finns separata system för AA (*aminsystem*) och DA (*dagvatten*), strömmar som ej riskerar att utsättas för oljekontaminerat vatten. Även SA (*sanitetsvatten*) leds på ett sådant sätt att det ansluts först vid ASU, se figur 2.





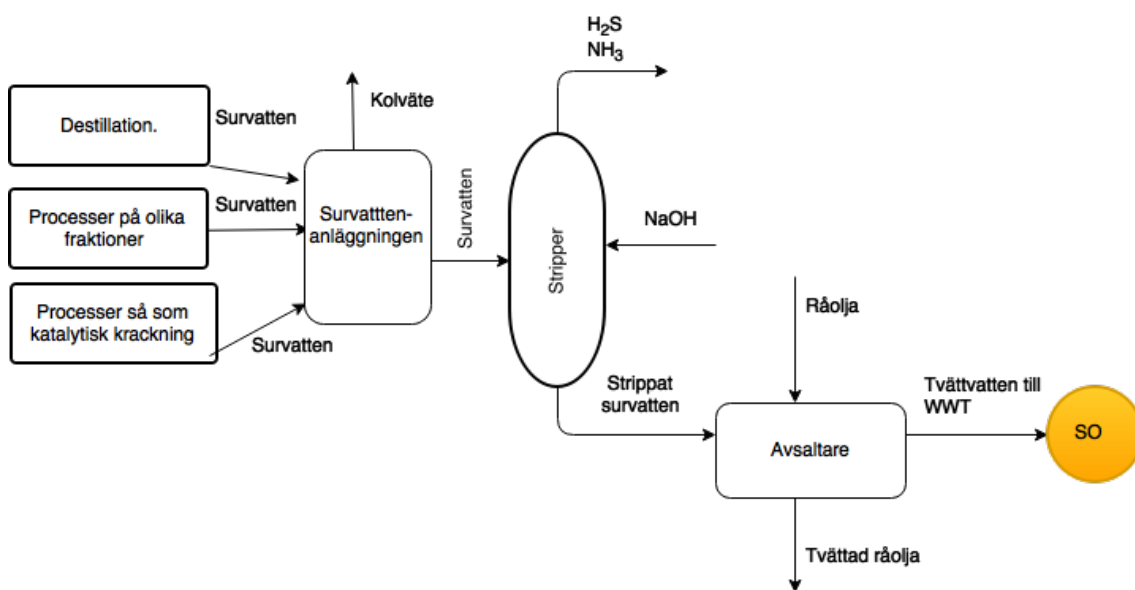
**Figur 2:** Schematisk bild över reningsverket. För att minska belastningen på WWT används flera olika separata system för vatten. OS - olja som innehåller en del vatten, SO - tvättvatten/processvatten, SA - sanitetsvatten, AA - amin, DA - dagvatten [2]. Återgiven med tillstånd.

## 2.1 Survattnets väg

Flertalet processer som behandlar råolja och dess fraktioner bildar salter av  $H_2S$  (vätesulfid) och  $NH_3$  (ammoniak). För att salterna inte skall sätta igen rör och annan processutrustning måste de avlägsnas så tidigt som möjligt ur processen. Även anledningar som att  $H_2S$  är korrosivt och att de båda ej är önskvärda ämnen i slutprodukten är viktigt. Salterna löses med tvättvatten alternativt i stripperångan vars primära syfte är att sänka partialtrycket i destillationsprocesser [3], [1].

Använd stripperånga kondenseras och kolväte avskiljs genom fassetparation. Survattnet (SV) (tidigare stripperånga och tvättvatten) leds därefter ofta, men inte alltid, till en stripper (destillationskolonn) där SV destilleras.  $H_2S$  och  $NH_3$  har högre ångtryck än  $H_2O$  och går över topp (går i gasfas), vilket illustreras schematiskt i figur 3.

För att strippern ska fungera optimalt är det viktigt att kontrollera pH noggrant, vilket ofta görs med en tillström av  $NaOH$  (natriumhydroxid). En miljö med lägre pH gör det lättare för den svaga syran  $H_2S$  att gå till gasfasen och över topp, medan tillsatts av en stark bas gör det lättare för  $NH_3$  att gå upp i gasfas och över topp [4]. För optimal utvinning av de båda ämnena bör pH ligga mellan 6 och 7 [1].



**Figur 3:** Schematisk bild över survattnets väg till vattenreningsverket (WWT) via processavloppet (SO).

Med ett modernt strippersystem borde halterna i det strippade survattnet ligga på  $< 1$  ppm H<sub>2</sub>S och  $< 30$  ppm NH<sub>3</sub> [1]. Typiska värden som fås vid en balansräkning med ett strippertorn bestående av 40 steg kan ses i tabell 2 där värdena är hämtade från Refining Process Handbook [3].

**Tabell 2:** Halter av H<sub>2</sub>S och NH<sub>3</sub> i survattnet (SV) till och från en survattenstripper.

Komponent	Enhet	SV till stripper	SV från stripper	Gas över topp
H <sub>2</sub> O	Mol	98.58 %	99.99 %	23.0 %
H <sub>2</sub> S	Mol	7056 PPM	4.42 PPM	38.3 %
NH <sub>3</sub>	Mol	7143 PPM	21.14 PPM	38.7 %

Vatten ut från survattenstrippern är till 99 % ren från H<sub>2</sub>S och NH<sub>3</sub> och recirkuleras till processen, eller används för tvättning av råolja i avsaltaren. Den H<sub>2</sub>S och NH<sub>3</sub> som går över topp förs vidare till en svavelanläggning för återvinning av S (*svavel*) alternativt förbränning. Vid mer avancerade raffinaderier, så som PREEM i Lysekil, krackas en del av fraktionerna från destillationen i katalytisk krackning. Produkterna ut från krackningen tvättas på samma sätt för att bli av med H<sub>2</sub>S och NH<sub>3</sub>.

## 2.2 Avsaltare

Avsaltare är det första steget i raffineringsprocessen och är till för att tvätta råoljan från oorganiska salter. De mest förekommande salterna är NaCl (*natriumklorid*),

$\text{CaCl}_2$  (*kalciumpklorid*) och  $\text{MgCl}_2$  (*magnesiumklorid*). Råoljan pumpas till avsaltaren där den tvättas med vatten som kommer från survattenstrippern. Salterna är viktiga att avlägsna eftersom de senare kan bilda saltsyra i processen, vilket är korrosivt. Avlägsnandet minskar även risken för saltavlagringar i processutrustning. Råoljan som kommer in i avsaltaren kan även innehålla lera, som vid ackumulering kan orsaka stopp i avsaltaren. Antingen tvättas avsaltaren kontinuerligt genom ett inbyggt system eller så sköts det på ett bestämt antal gånger per dygn genom att tvättvattenflödet ökas markant en kort stund [1].

### 2.3 Avloppsutjämningsstankar

Efter att vattnet använts i avsaltaren leds det vidare i SO till stora avloppsutjämningsstankar där densitetsskillnaden orsakar en fassetparation mellan olja och vatten. Därifrån pumpas oljan tillbaka till dagtankarna. Olja består av både polära och opolära kolväten. De polära kolvätena kan lösa sig i vatten och kommer inte separeras i detta steg. Opolära kolväten som principiellt inte är vattenlösliga förekommer däremot i form av emulsionsdroppar. Vid driftavvikelser kan större mängder emulgerad olja följa med vattenflödet till vattenreningsverket [5].

Ett alternativ till avloppsutjämningsstankar är att låta det primära steget av vattenreningen utgöras av mekanisk rening i en API (*Atmospheric Petroleum interceptor*) separator. I enheten utnyttjas densitetsskillnader mellan olja och vatten för separation. En diffusionsbarriär tillåter vattenströmmen att långsamt passera så att de lätta oljefraktionerna stiger till ytan och skrapas av [1]. På PREEM i Lysekil finns tre stycken API-bassänger, men dessa används enbart vid extrema flöden. För att inte riskera oljeläckor är bassängerna utformade med oljelås. Från bassängerna kan vattnet föras vidare till en spärrdamm och vidare till oxidationsdammen [5].

### 2.4 Kemisk rening

Det andra steget av vattenreningen utgörs av en kemisk rening i FFU. Enheten utgörs på PREEM Lysekil av tre delar: en rörmixer, CPF (*Coiled Pipe Flocculator*), två flotationsavdelningar, TPF (*Tilted Plate Flotation*), och två slamavskiljningsbassänger, DAF (*Dissolved Air Flotation*). Syftet med den kemiska reningen är att avlägsna kolväten och fasta partiklar. Efter FFU har halten suspenderade ämnen reducerats med cirka 60 % och halten totalt extraherbara kolväten med cirka 80 % [2].

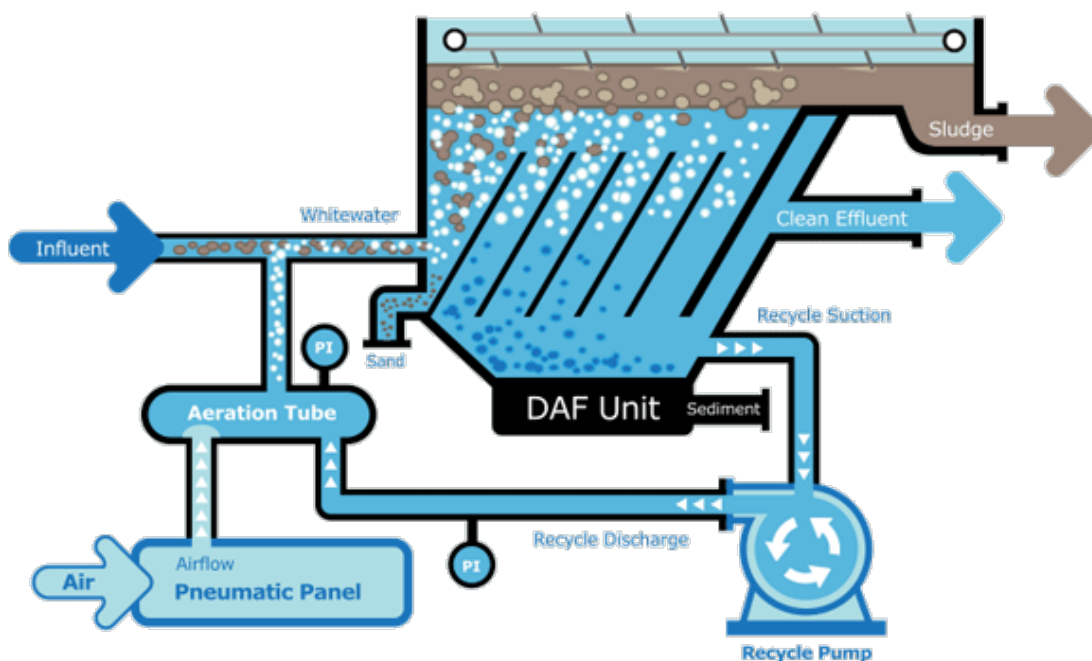
En förutsättning för att slamavskiljning ska kunna ske är att flockar av olja bildas. Flockar bildas genom tillsats av koagulerings- och flockuleringsmedel i CPF. Först tillsätts koaguleringsmedel för att fälla ut oljedroppar och lut för pH-justering, sedan ett flockuleringsmedel för att få oljedropparna att flockulera. PREEM använder endast lut för koaguleringen. Lutens tillsats precis innan en strypfläns vars uppgift är att skapa omrörning genom turbulens. Vid hög turbulens blir oljedropparna mindre och får större totalyta och kan därför koagulera snabbare. Koaguleringsprocessen

är känslig för pH och temperatur. Låg temperatur hämmar koaguleringsprocessen, medan hög temperatur gynnar processen [6].

Efter koagulering sker flockulering med hjälp av satsvis tillförsel av polyelektrolyt för att neutralisera de negativa ytorna på oljedropparna. För att polyelektrolyten skall få god verkningsgrad regleras pH. Detta görs genom tillsats av NaOH till ett pH runt 8-9. Om pH är för lågt blir flockulationen ineffektiv och vid för högt pH finns det risk att den biologiska reningen skadas. Efter flockuleringen blir de koagulerade partiklarna mer resistenta mot skjuvkraft samt andra störningar som ändringar av temperatur och pH.

I DAF-enheten avskiljs de bildade flockarna med hjälp av luft. Den inkommande strömmen blandas med en utgående ström från DAF-enheten, som har genomgått tryckreducering och mättats med luft. Vid tryckreduceringen skapas luftbubblor, vilka fäster sig på de bildade flockarna. Flockarna stiger då till ytan och bildar ett lager av slam [1]. Partikelstorlek, densitet, sammansättning på inkommande ström, förhållandet luft/fasta partiklar och dispergeringsmedel är viktiga faktorer i DAF-enheten [7].

Det bildade slammet avskiljs sedan med hjälp av TPF vid tankens inloppskammare. I TPF utnyttjas skillnaderna i densitet mellan olja och vatten för avskiljning. För att uppnå en så effektiv avskiljning som möjligt bör den vertikala transportvägen minimeras. En annan viktig faktor är stigningshastigheten för de luftburna flotterade föreningarna [5]. Hur DAF och TPF kan se ut finns återgett i figur 4.



**Figur 4:** En schematisk bild på en DAF-enhet, där inkommande ström blandas med whitewater, vilket är en utgående ström från DAF som har återcirkulerats och mättats. De diagonala strecken är en del av TPF [8]. Återgiven med tillstånd.

## 2.5 Biologisk rening i ASU

Det generella syftet med biologisk rening är att avlägsna organiskt, biologiskt nedbrytbart material [9]. Genom att skapa förhållanden så att biologiskt nedbrytbart material blir det begränsande ämnet uppfylls syftet. Ett krav för att reningsprocessen i ASU ska fungera är att flockulering av biomassa för bioslamproduktion sker. Idealt bör flockningen vara så stark och kompakt att den sedimenterar snabbt och blir till tjockt slam som kan ledas tillbaka till inflödet av processen. Resterande produkt är då renat vatten, vilket uppnås genom rätt proportioner av flockulerande och filamentösa (trådbildande) bakterier. Egenskaper för en gynnsam miljö för tillväxt av filamentösa bakterier är kontinuerlig tillförsel av substrat, vilket bibehåller låg koncentration. Vidare kan därför närvaron av filamentösa bakterier med hög affinitet för kväve, fosfor eller DO (*Dissolved Oxygen*) indikera att dessa näringsämnen är begränsade. Begränsningen av näringsämnen kan leda till överflödigt tillväxt av filamentösa bakterier, vilket kan skapa problem i processen med för mycket slam. En åtgärd är att tillsätta mer av det begränsade ämnet.

### 2.5.1 Rening med bioslam

Vatten in till ASU kommer från FFU, SA-avlopp samt vatten från slamförtjockning och centrifugering. Polära kolväten som fortfarande finns kvar bryts ner genom biologisk nedbrytning [10]. För att den biologiska reningen ska vara väl fungerande bör halten fria kolväten vara mindre än 10 ppm. För hög oljehalt leder till att bakterierna i bioslammet, som står för nedbrytningen, kvävs som följd av bromsad syretransport [11]. Bioslam bildas under tillväxt av dessa bakterier. Redan befintligt slam består av aktiva bakterier till cirka 65 % och overksam material till cirka 35 % [10]. Vidare innebär det att det är av stor vikt att kunna kontrollera mängden slam som tillförs samt avlägsnas från reningssteget. På så sätt kan slammets ålder regleras och då även dess aktivitet. Tillgång till näringsämnen är också en betydande faktor för aktiviteten.

Temperatur påverkar både reaktionshastigheten och egenskaper för sedimentation i ASU [12]. Temperaturberoendet formuleras som två olika faktorer: i) den maximalt accepterade arbetstemperaturen och ii) de faktorer som påverkar värme- förlust och vinst av processen [9]. Arbetstemperaturen för en typisk ASU bör vara inom 15-40 °C. För anläggningar i kalla klimat är det viktigt att temperaturförändringar inte överstiger 10 °C per timme för att inte försämra reningprocessen i ASU [12].

### 2.5.2 Biologisk kväverening

Samtidigt som nedbrytning av olja sker i ASU renas vattnet från kväve genom omväxlande aeroba (*syrerika*) respektive anoxiska (*syrefattiga*) förhållanden i ASU. Således kallas de två olika nedbrytningsfaserna för aerob respektive anoxisk nedbrytning, i vilka olika bakterier gynnas för optimal tillväxt. Vattnet som passerar genom två olika sektioner av den biologiska bassängen kommer vara omväxlande

aerobisk och anoxisk efter en programmerad sekvens för när luftning ska ske och inte [11].

Den biologiska kväveringsprocessen sker i två steg: NI (*nitrifiering*) samt DN (*denitrifiering*) [10]. NI sker aerobt, det vill säga i den luftade driftfasen, och förutsätter att kväve finns i form av  $\text{NH}_4^+$  (*ammoniak som katjon*).  $\text{NH}_4^+$  omvandlas till  $\text{NO}_3^-$  (*nitrat*) genom två steg [13].

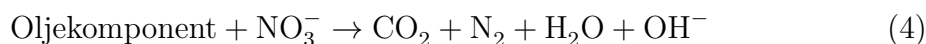
Första omvandlingen sker enligt reaktion 1 och 2.



Andra omvandlingen sker enligt reaktion 3.



Efter dessa omvandlingar sker en tredje omvandling under anoxiska förhållanden. Då syrehalten sjunker i närvaro av en kolkälla (*i detta fall en oljekomponent*), börjar denitrifierande bakterier omvandla  $\text{NO}_3^-$  till  $\text{N}_2$  (*kvävgas*). De ingående komponenterna i denna omvandling är generellt de som syns i ekvation 4, **utan** stökiometriska koefficienter då dessa oljekomponenter har olika sammansättningar som påverkar reaktionen.



$\text{N}_2$  som bildas avgår direkt till atmosfären. Inflödet till ASU går till en av luftningstankarna som är i DN-fas. Detta för att kolkällan i avloppsvattnet är nödvändig för att denitrifieringen ska ske.

Luftningstankarna körs i cykler, där förhållandena alternerar mellan syrefria och syresatta. NI samt DN sker i styrda intervall i båda luftningstankarna. Luftningstankarna kommer innehålla olika koncentrationer som lämpar sig olika bra som utlopp till sedimentationstanken. Därför har båda tankar separat utlopp mot sedimentationstanken, vilket gör det möjligt att alternera utloppet beroende på förhållandena i tanken.

I sedimentationstanken avskiljs bioslam som kommer från ASU och returneras till luftningstankarna. Det renade vattnet skickas till en oxidationsdamm [11]. Oxidationsdammen på PREEM i Lysekil är inte längre aktiv, utan används som ett sista stopp innan utsläpp till Brofjorden sker.

## 3 Metod

Den inledande delen av projektet utgjordes av en litteraturstudie kring hur vatten som används i oljeraffineringsprocessen hanteras samt hur WWT-anläggningar fungerar och är uppbyggda. Lämpligt underlag för litteraturstudien inhämtades vid uppstartsmöte på PREEM Lysekil, från Chalmers biblioteks databas, Google Scholar och SciFinder. Litteraturstudien gjordes för att få en förståelse hur de olika delarna av raffinaderiet interagerar i vattenreningen.

### 3.1 Kartläggning

Kartläggning av procesströmmar gjordes på PREEMs anläggning i Lysekil. Det gjordes med hjälp av processsystemprogrammet IP 21 och genom att fysiskt undersöka hur vattenreningssystemen var uppbyggda på plats. Avloppssystemen är komplexa och förgrenar sig över hela anläggningen. Därför gjordes en avgränsning, vilken innebär att fokus ligger på WWT och det processvatten som kommer in till WWT. Alltså uteslöts strömmar som regnvatten, grundvatten och sanitetsavlopp.

### 3.2 Störande halter av ämnen och dess effekt

I rapporten undersöks tre separata fall av mindre driftavvikelser i WWT. De tre fallen som presenteras i tabell 3 är tidsintervall där det skett mindre driftavvikelser samt vilken av dagarna som driftavvikelsen noterats. Anledningen till att endast mindre avvikelser undersöks är för att de större ofta har en klar anledning eller är utredda av PREEM.

**Tabell 3:** Driftavvikelse som undersöks.

Fall	Tidsintervall som undersökts	Driftavvikelse noterad
1	14 dagar	Dag 11
2	13 dagar	Dag 6
3	16 dagar	Dag 8

Basen för datainsamling utgjordes av data hämtad från IP 21 samt LabOnline, databasen för laborationsprover, på PREEMs anläggning i Lysekil. Utifrån insamlad data noterades avvikelser, varefter mätpunkterna plottades i Excel. När mätpunkterna plottats jämfördes alla grafer för respektive fall för att undersöka vad som potentiellt orsakat driftavvikelserna. Därefter jämfördes de tre fallen för att undersöka likheter dem emellan.

### 3.3 Åtgärder

När driftavvikelserna hade undersökts togs förslag fram på hur PREEM skulle kunna förebygga driftavvikelser i framtiden. Förslagen utvärderades med hjälp av litteraturstudie samt kostnadsberäkningar.

#### 3.3.1 Kostnadsberäkningar

Investeringskostnad,  $C_{LTCI}$ , för åtgärder beräknades med Lang-faktorn enligt ekvation 5 där 1.05 är ett generellt tillägg på 5 %.  $F_{LTCI}$  är Lang-faktorn för LTCI (*Lang Total Capital Investment*) som valdes till 5.93, vilket är värdet som skall användas för en processindustri som bearbetar vätskor.  $I_i$  är kostnadsindex för innevarande år,  $I_b$  är kostnadsindex för det år som processkomponentens pris är erhållet. I detta fall användes CEPCI (*Chemical Engineering Plant Cost Index*). Innevarande år sattes till 2015 (index 556.8) [14].  $C_{pi}$  är kostnad för den enskilda komponenten vid ett visst årtal, priserna som erhöles var från 2006 (index 500) [15]. Samtliga ekvationer för beräkning av kostnader är tagna från *Product and Process Design Principles: Synthesis, Analysis and Evaluation* [15].

$$C_{LTCI} = 1.05 \cdot F_{LTCI} \cdot \sum [(I_i/I_b) \cdot C_{pi}] \quad (5)$$

För att beräkna kostnaden för en pump,  $C_{Pp}$ , användes ekvation 6 där  $F_T$  är en pumpparameter,  $F_M$  är en materialparameter och  $C_B$  som beror av kapaciteten enligt ekvation 7 som i sin tur är beroende av ekvation 8 [15].

$$C_{Pp} = C_B \cdot F_T \cdot F_M \quad (6)$$

Beräkning av storleksfaktor  $S$  för en pump görs med ekvation 8 där  $Q$  är flödet i gallon/min och  $H$  är höjdskillnaden i fot.

$$C_B = \exp[9.7171 - 0.6019 \cdot \ln(S) + 0.0519 \cdot \ln(S)^2] \quad (7)$$

$$S = Q \cdot (H)^{0.5} \quad (8)$$

Kostnaden för en elektriskmotor,  $C_{Pm}$ , beräknades enligt ekvation 9 där  $Pc$  är en parameter som beror på bland annat flöde och storlek på motorn som ska drivas.

$$C_{Pm} = \exp[5.8259 + 0.13141 \cdot \ln(Pc) + 0.053255 \cdot \ln(Pc)^2 + 0.028628 \cdot \ln(Pc)^3 - 0.0035549 \cdot \ln(Pc)^4] \quad (9)$$

$Pc$  beräknas med ekvation 10 där  $\rho$  är vattnets densitet i lb/gallon,  $\eta_p$  beräknas med ekvation 11 och  $\eta_m$  beräknas med ekvation 12 där  $P_B$  är antalet hästkrafter motorn



har.

$$P_c = \frac{Q \cdot H \cdot \rho}{33000 \cdot \eta_p \cdot \eta_m} \quad (10)$$

$$\eta_p = -0.316 + 0.24015 \cdot \ln(Q) - 0.01199 \cdot \ln(Q)^2 \quad (11)$$

$$\eta_m = 0.8 + 0.0319 \cdot \ln(P_B) - 0.00182 \cdot \ln(P_B)^2 \quad (12)$$

Kostnaden för en bufferttank med fast tak beräknas med hjälp av ekvation 13 där  $V$  är tankens storlek i gallons.

$$C_{Pt} = 265 \cdot V^{0.51} \quad (13)$$

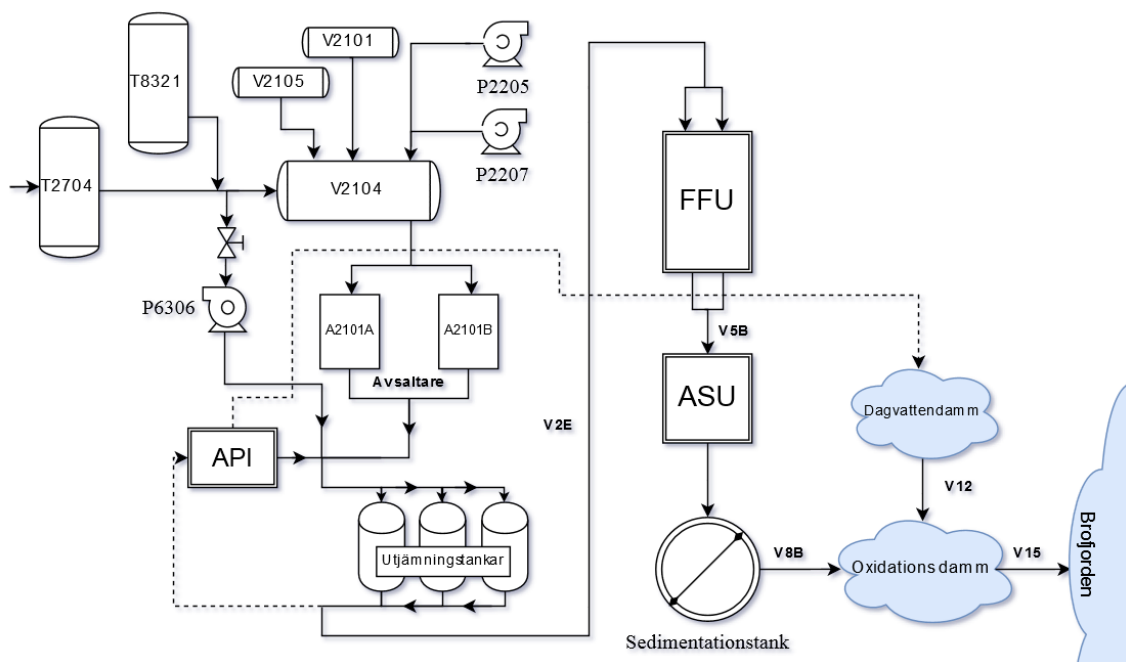
Kostnaden för samtliga komponenter erhöles i dollar och räknades om till svenska kronor med kursen 8.87.

## 4 Kartläggning, driftavvikelse och åtgärder

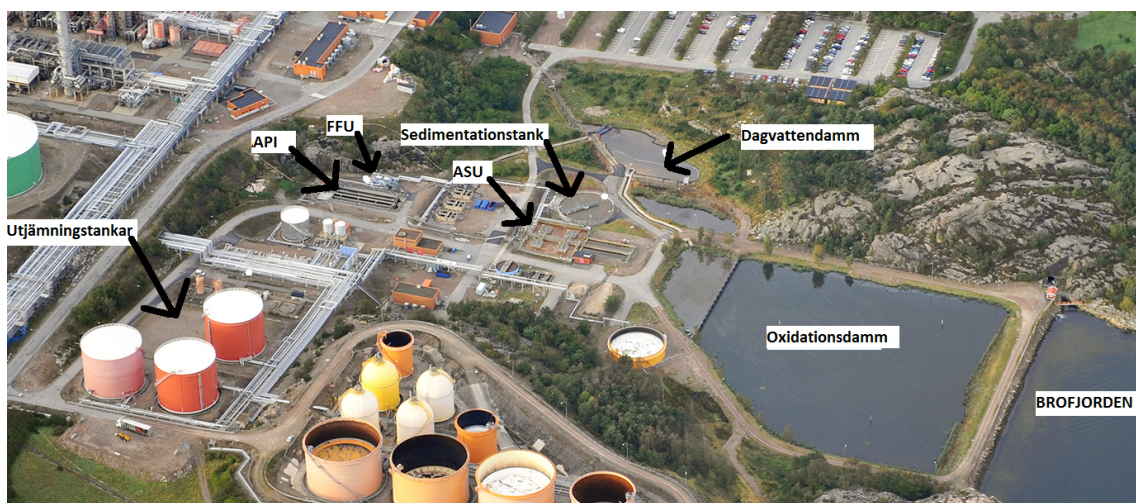
I detta avsnitt behandlas de resultat som studien baseras på. Huvudsakligen består resultaten av mätdata från ett flertal mätpunkter i processen där fokus ligger på mätdata som avviker från normal drift. Efter kartläggningen och mätpunkterna redovisats följer de tre fallen där driftavvikelse noterats.

### 4.1 Kartläggning

Vattenströmmarna är många och figur 5 visar de processteg och mätpunkter som denna rapport hänvisar till och behandlar. För ytterligare förståelse kan även flygfotot i figur 6 samt tabell 4 studeras.



Figur 5: Schematisk bild över processen med väsentliga mätpunkter utmärkta.



Figur 6: Flygfoto över WWT.

**Tabell 4:** Förklaring vad de olika delarna i kartläggningen betyder där T står för Tower, V för Vessel och P för Pump.

Benämning	Förklaring
T2704	Strippertorn, för rening av survatten från 270-anläggningen
T8321	Strippertorn, för rening av survatten från 830-anläggningen
V2101	Trefasseparator för stripperånga från råoljedestillation. Allt som går över topp i desillationen hamnar här.
V2105	Trefasseparator för en liten del av stripperånga från råoljedestillationen, dock förhållandevis liten ström.
P2205 & P2207	Pumpning av vatten som använts i vakuumdestillation, 220-anläggningen.

Som figur 5 visar är det ett antal strömmar som går till V2104. Samtliga strömmar har relativt lika massflöden förutom V2105 som har valts att ignoreras, då den saknar mätpunkter och strömmen är mycket liten i jämförelse med de andra. Från strippertornen, T8321 och T2704, tillkommer strippervatten, där salter lösts upp och kolväteföreningar renats från strömmen. Ungefär 50 % av detta strippervatten går vidare till V2104 medan resten går via P6306 till API. P2205 och P2207 är pumpar som pumpar vatten från vakuumdestillationen och innehåller mycket smutsigt vatten. Från råoljedestillationen, V2101, kommer det vatten som har blivit tillsatt stripperånga för att sänka partialtrycket av kolväten i ångafasen. Det här vattnet är vanligen mindre rent än det från strippertornen. Från V2104 går vattnet vidare till avsaltarna och blandas därefter med strömmen från API och går vidare till utjämningsstankarna. Efter utjämningsstankarna är vattnets väg mindre komplicerad, då det endast går vidare till FFU, ASU, sedimentationstank, oxidationsdamm och sedan ut i Brofjorden.

Storleken på de olika vattenströmmarna är beroende av flera olika faktorer och flödena varierar under dygnet. Det finns inte flödesmätare på alla punkter och för att kringgå detta har vattenbalanser använts i en ögonblicksbild. Resultatet av dessa vattenbalanser för ett specifikt datum samt ett årsmedel kan ses i tabell 5. Värdena ska betraktas som ungefärliga, men storleksordningen stämmer vid normala driftförhållanden. Tillflödet av processvatten till utjämningsstankarna är cirka  $200 \text{ m}^3/\text{h}$  vilket är mindre än utflödet från oxidationsdammen. Troligen beror skillnaden på olika typer av tillflöden i form av SA, OS, DA samt mätfel. Flödena kan jämföras med att det varje timme processas cirka  $1400 \text{ m}^3$  råolja.

**Tabell 5:** Ungefärliga vattenflöden i processen i form av ögonblicksbild samt årsmedel.

Från	Till	Ögonblicksbild [m <sup>3</sup> /h]	Årsmedel [m <sup>3</sup> /h]
V2101	V2104	22	28
T2704	–	53	48
T8321	–	16	8
T8321 & T2704	Utjämningsstankar via API	33	30
T8321 & T2704	V2104	36	26
Avsaltare	Utjämningsstankar	65	61
P2205 & P2207	V2104	6	7
Utjämningsstankar	FFU	200	–
Oxidationsdammen	Brofjorden	–	305
Externt	Råvattentank	–	326

Ungefärliga uppehållstider för de olika delarna i WWT vid ett flöde på 200 m<sup>3</sup>/h redovisas i tabell 6.

**Tabell 6:** Ungefärliga uppehållstider vid ett flöde på 200 m<sup>3</sup>/h.

Enhet	Ungefärlig uppehållstid [h]
Utjämningsstank	50
FFU	0.13
ASU	10
Sedimentationstank	10
Oxidationsdamm	100

Upphållstider för avsaltarna beräknades utifrån volymsflöden i tabell 5 och avsaltarnas volym. De två avsaltarna approximerades till cylindrar.

**Tabell 7:** Ungefärliga uppehållstider beräknade från given volym samt volymsflöden i tabell 5.

Enhet	Volym fylld med vatten [m <sup>3</sup> ]	Upphållstid [h]
Avsaltarna	22.4 x 2	0.75

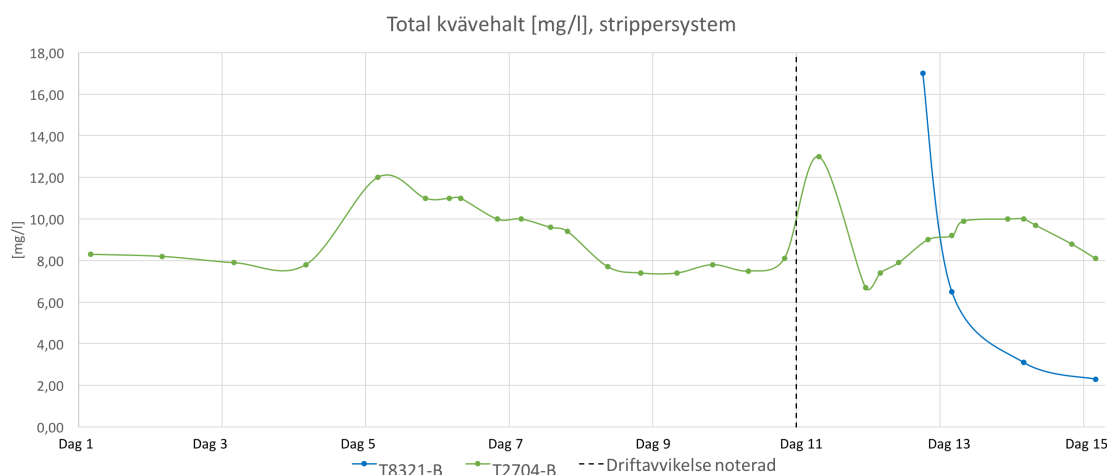
## 4.2 Driftavvikelser

För att undersöka källan till olika föroreningar undersöktes tre fall där mindre driftavvikelser i WWT inträffade. I de studerade fallen har olika mätpunkter studerats för att bestämma vilka ämnen som påverkar driften, samt vilken ström de kommer från. Samtliga fall har studerats med hjälp av IP21 och provdata från Labonline. I fall 1 fanns även specialprover från V2101 och V2104 att tillgå.

Larmgränser som refereras till är internt bestämda av PREEM och ligger under gränserna för vad som är tillåtet att släppa ut enligt lag. Genom att använda larmgränser kan utsläppen minimeras ytterligare och om larmgränserna skulle överskridas finns utrymme att vidta åtgärder innan tillåtna halter överskrids.

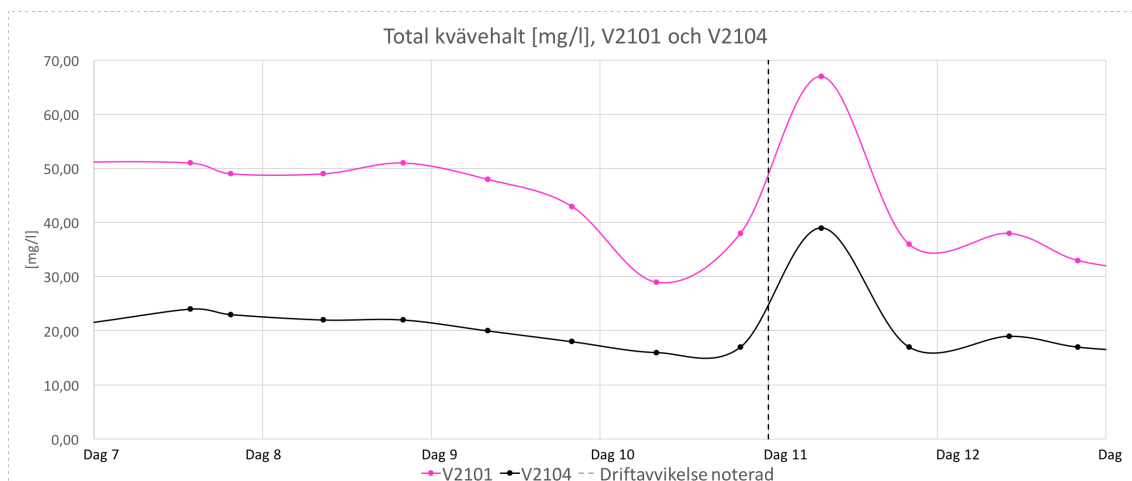
#### 4.2.1 Fall 1

I figur 7, 8, 9 och 10 redovisas hur total kvävehalt varierar under ett tidsintervall på cirka 14 dagar. Figur 7 visar mätpunkterna T8321-B och T2704-B, där beteckning B innebär att prov tagits i botten av strippertornet. I figur 8 visas specialproverna i V2101 och V2104, i figur 9 visas avsaltare, P6306, V2E och V5B och i figur 10 visas mätpunkter V8B och V15.



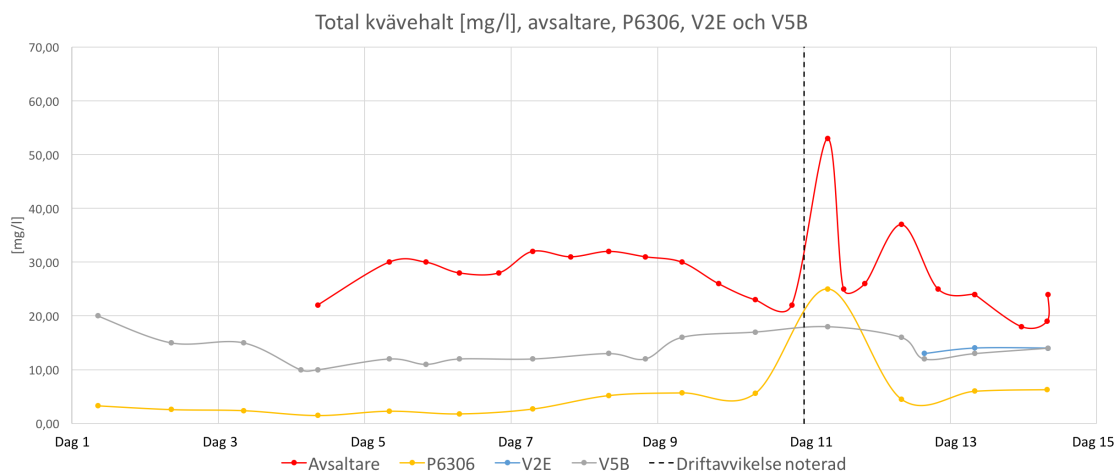
**Figur 7:** Total kvävehalt i strippersystemet.

Mätvärden för T8321-B saknas till stor del under denna period, varför figur 7 har färre mätdata och ej ger en helhetsbild.



**Figur 8:** Total kvävehalt i V2101 och V2104.

Extra prover togs i mätpunkt V2101 och V2104 under undersökt tidsintervall, och redovisas i figur 8. I figuren går att avläsa förhöjda totala kvävehalter vid tiden innan, under och efter driftavvikelsen i WWT. Avvikelser i mätpunkterna korrelerar väl, varför V2101 troligen är källan till avvikelsen.

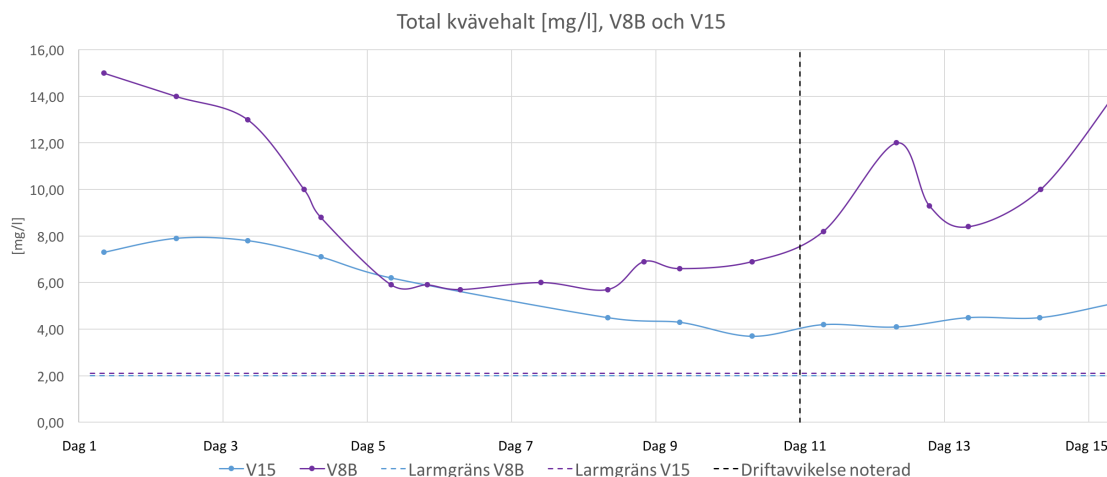


**Figur 9:** Total kvävehalt i avsaltare, P6306, V2E och V5B.

**Tabell 8:** Larmgränser av total kvävehalt för mätpunkter i processen.

Mätpunkt	Larmgräns [mg/l]
T2704-B	–
T8321-B	–
Avsaltare	25
P6306	10
V5B	35
V8B	2
V15	2.1

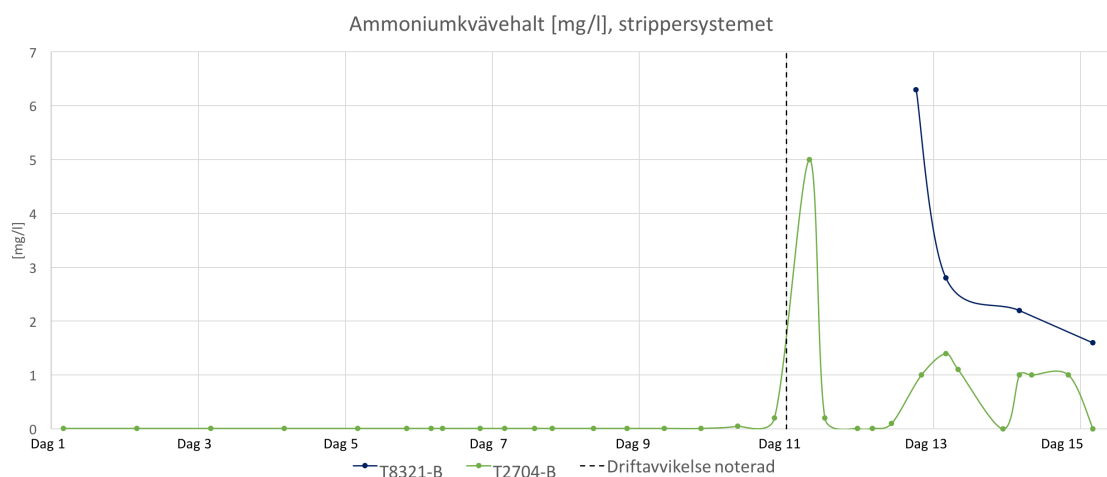
I figur 9 går att avläsa ökade kvävehalter i avsaltare och P6306. Enligt tabell 8 överstiger uppmätta värden i de mätpunkterna larmgränser för respektive mätpunkt strax efter driftavvikelsen ägde rum, men då mätningar tas med timmars mellanrum kan en ökning ha skett tidigare än grafen visar. Mätpunkt V2E har enbart mätdata efter driftavvikelsen och tolkning av denna är därför ej relevant.



**Figur 10:** Total kvävehalt i V8B och V15 inklusive larmgränser.

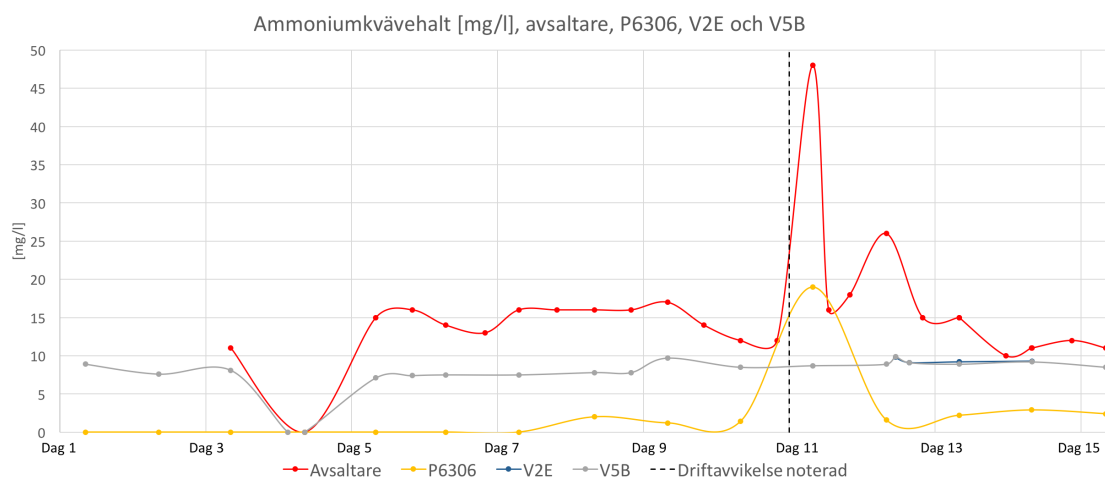
I figur 10 noteras att uppmätta halter i V8B och V15 överstiger respektive larmgräns, vilka redovisas i tabell 8, under samtliga tidpunkter i undersökt intervall.

Hur ammoniumkvävehalten varierar i samtliga mätpunkter redovisas i figur 11, 12 och 13. Figur 11 redovisar uppmätta halter i strippersystem, figur 12 redovisar avsaltare, P6306, V2E och V5B och i figur 13 redovisas mätpunkter V8B och V15 inklusive larmgränser.



**Figur 11:** Ammoniumkvävehalt i strippersystem.

I figur 11 går att avläsa att ammoniumkvävehalterna är mycket låga i strippersystemet innan driftavvikelsen samt att T8321-B saknar mätdata för stora delar av undersökt intervall, varför tolkning av mätpunkten blir svår.



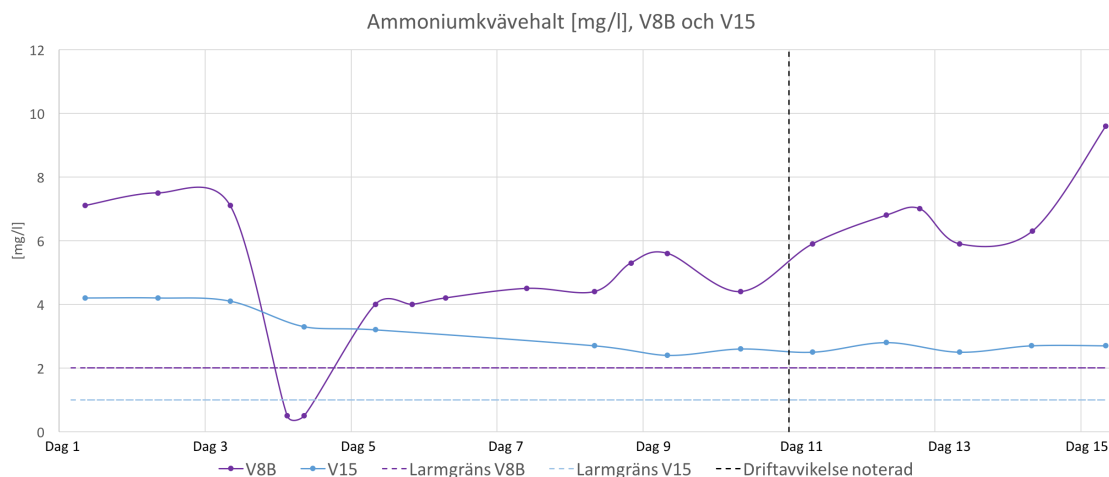
**Figur 12:** Ammoniumkvävehalt i avsaltare, P6306, V2E och V5B.

**Tabell 9:** Larmgräns för ammoniumkvävehalt.

Mätpunkt	Larmgräns [mg/l]
T2704-B	–
T8321-B	–
Avsaltare	15
P6306	10
V5B	20
V8B	1
V15	1

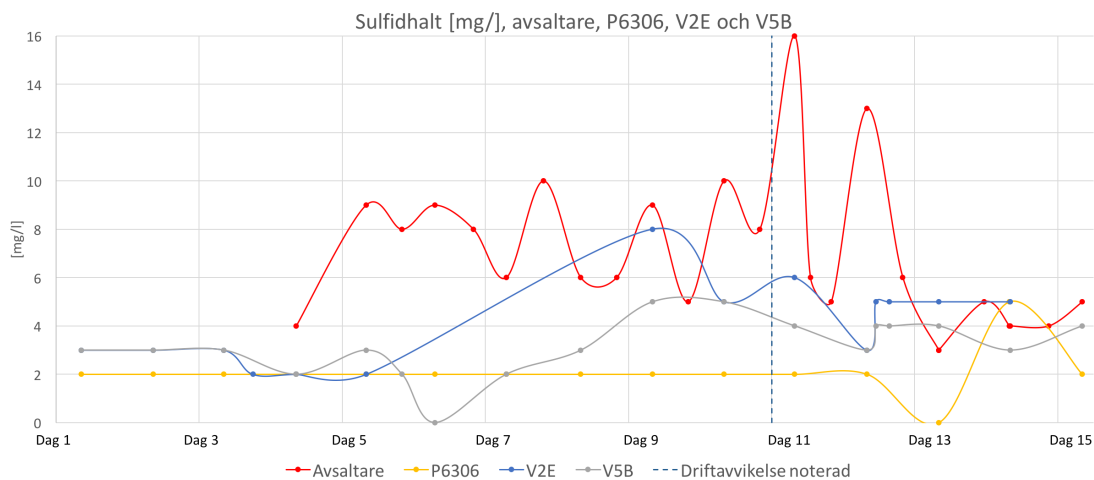
Med hjälp av tabell 9 och figur 12 kan det avläsas att både P6306 och avsaltare ser ut att passera larmgränsen strax efter driftavvikelsen. Orsaken till detta kan vara det långa intervallet mellan mätningarna. I själva verket kan det vara så att halterna är förhöjda redan innan driftavvikelsen.





**Figur 13:** Ammoniumkvävehalt i V8B och V15.

I V8B och V15 överstigs larmgräns (se tabell 9) under hela perioden, vilket går att avläsa i figur 13. Sulfidhalten i mätpunkterna avsaltare, P6306, V2E och V5B varierar enligt figur 14.



**Figur 14:** Sulfidhalt i mätpunkterna avsaltare, P6306, V2E och V5B.

**Tabell 10:** Larmgränser för sulfidhalt.

Mätpunkt	Larmgräns [mg/l]
Avsaltare	5
P6306	5
V5B	3

Tabell 10 redovisar larmgräns för sulfidhalt som ej bör överskridas i avsaltare, P6306 samt V5B. Sulfidhalterna i avsaltarna överstiger larmgräns dagarna innan driftav-

vikelsen i WWT äger rum, se figur 14. Även i V5B överstigs larmgränsen cirka två dagar innan driftavvikelsen, medan halter i P6306 förblir godkända.

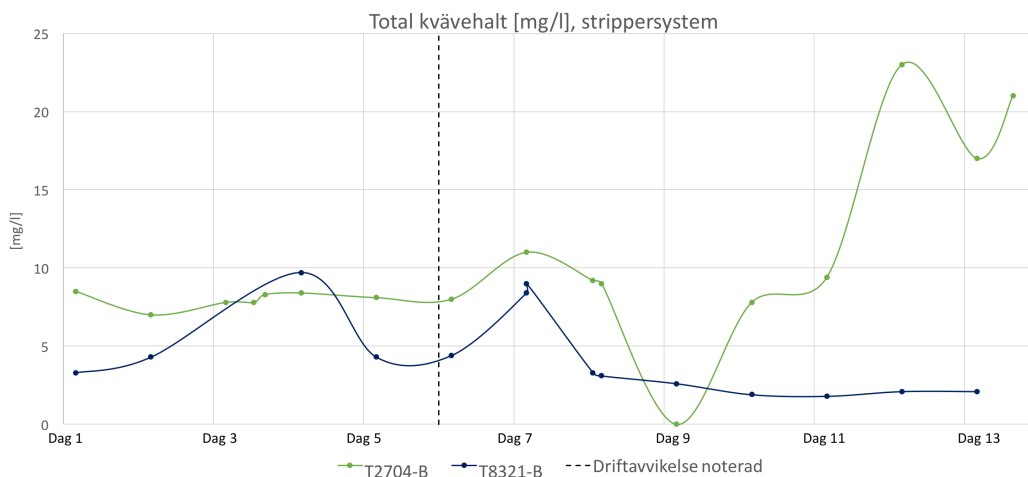
De största avvikelserna är förhöjda kvävehalter. Innan driftavvikelsen ses endast marginellt förhöjda halter från T2704 och för perioden saknas värden för T8321. Det ses däremot förhöjda halter i avsaltarna i figur 9 och i de extra prover som togs i V2101 och V2104 i figur 8. Vatten med förhöjda kvävehalter kommer till avsaltaren från V2101, och därför blir hypotesen att det är V2101 som bidrar till förhöjda kvävehalter. Det vatten som kommer till V2101 är uteslutande vatten som använts i råoljedestillationen, där inga avvikelser i driften noterats.

Då det är lång tid mellan mätningarna är det svårt att avgöra om det ackumuleras kväveföreningar eller om det är råoljan som innehåller höga koncentrationer. I bästa fall är mätningarna med fyra timmars mellanrum. Kväveföreningar som är tillräckligt lätta för att gå över topp i råoljedestillationen kommer till V2101 och därefter till avsaltarna. Alternativt beror de förhöjda halterna i avsaltarna på att mer kväveföreningar tillåts att gå vidare genom råoljedestillationen och ger förhöjda halter i V2101. Slutsatsen av detta är att de förhöjda totala kvävehalterna är direkt kopplade till råoljan och dess sammansättning. Ammoniumkvävehalten följer samma trend som den totala kvävehalten, varför hypotesen dras att råoljan är källan till de förhöjda halterna.

En annan förklaring till de förhöjda kvävehalter ut från WWT vid datum för driftavvikelsen skulle kunna vara att ASU ej fungerar optimalt. Orsaken till detta skulle kunna vara de förhöjda sulfidhalter som noterats cirka två dagar innan driftavvikelsen i avsaltarna och sedan i V5B i figur 14. Förhöjda sulfidhalter efter avsaltarna skulle kunna vara ett tecken på att avsaltarna inte fungerar optimalt.

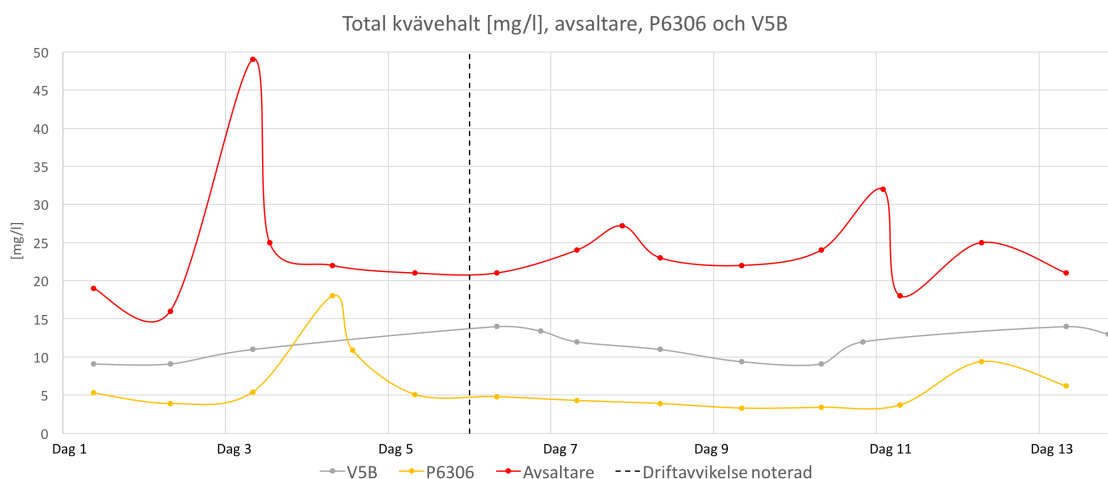
#### 4.2.2 Fall 2

Figur 15, 16 och 17 visar hur total kvävehalt varierar i de olika mätpunkterna under ett tidsintervall på cirka 12-13 dagar. I figurerna finns det med data från strippersystemet, avsaltaren, P6306, V5B, V8B och V15. För mätpunkterna V8B och V15 finns det inkluderat larmgräns för respektive mätpunkt.



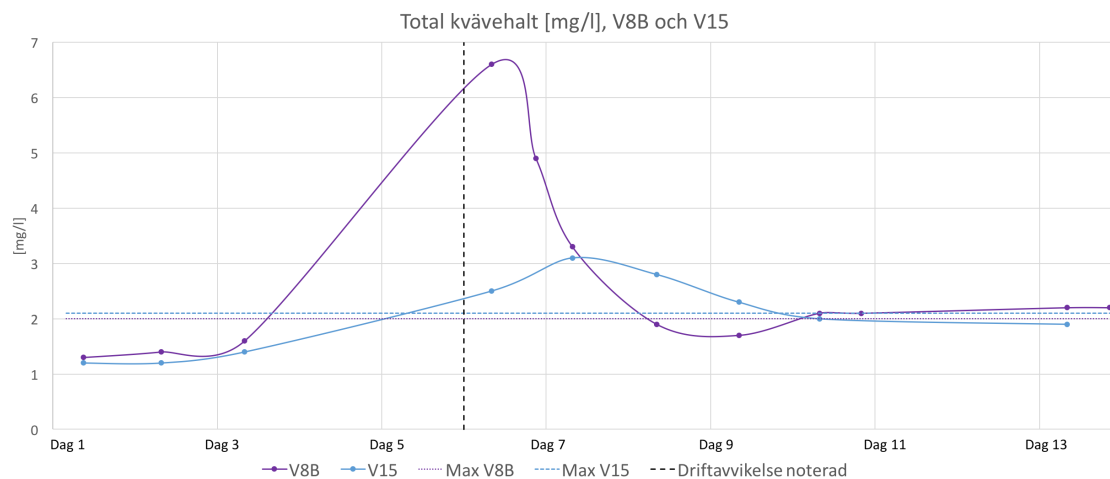
**Figur 15:** Total kvävehalt i strippersystemet.

I figur 15 noteras inga större avvikelser för strippersystemet gällande total kvävehalt.



**Figur 16:** Total kvävehalt i avsaltare, P6306 och V5B.

Rejält förhöjda halter noteras i avsaltarna cirka tre dygn innan driftavvikelsen, se figur 16. De förhöjda kvävehalterna i avsaltarna kan vara relaterade till driftavvikelsen beroende på hur lång uppehållstiden i utjämningsstankarna är. Upphållstiden i utjämningsstankarna kan vara cirka två dygn, och beroende på tidsintervallet mellan mätningarna kan förhöjda halter efter utjämningsstankarna noteras först två dygn senare.

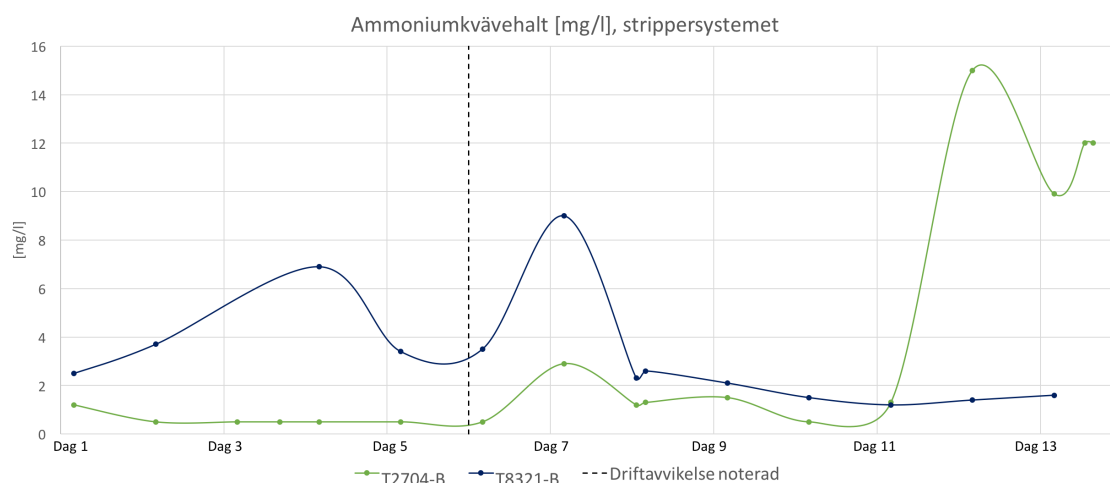


**Figur 17:** Total kvävehalt i V8B och V15.

Då driftavvikelsen ägt rum kan det i figur 17 avläsas kraftigt förhöjda kvävehalter i mätpunkterna V8B och V15. Larmgränser visas i tabell 8.

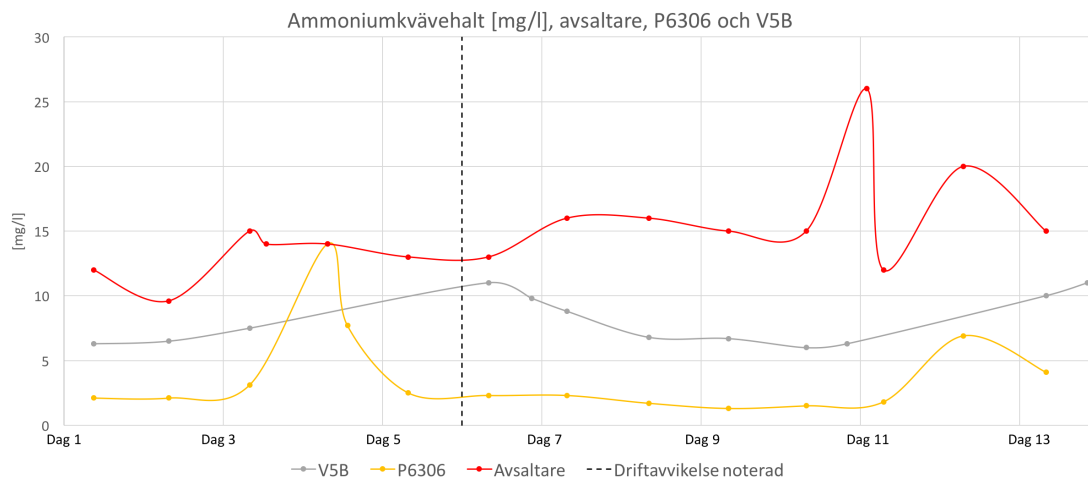
Trender kring total kvävehalt liknande de i fall 1 observeras, trots att förhöjda kvävehalter noteras i avsaltarna mycket tidigare än i förgående fall. De förhöjda kvävehalterna i avsaltarna cirka tre dygn innan anses var en möjlig orsak till driftavvikelsen. Eftersom vatten kommer till avsaltarna från V2101 anses även råoljan vara källan till de förhöjda kvävehalterna även i detta fall. De stora vattenströmmarna från strippertornen, T8321 och T2704, har inte heller i detta fall tillräckligt höga totala kvävehalter för att förklara driftavvikelserna i WWT.

Hur ammoniumkvävehalten varierar i samtliga mätpunkter under samma tidsintervall som ovan redovisas i figur 18, 19 och 20. Figur 18 visar ammoniumkvävehalt i strippersystemet, figur 19 visar ammoniumkvävehalt i avsaltare, P6306 och V5B och figur 20 visar ammoniumkvävehalt i V8B och V15 med respektive larmgränser.



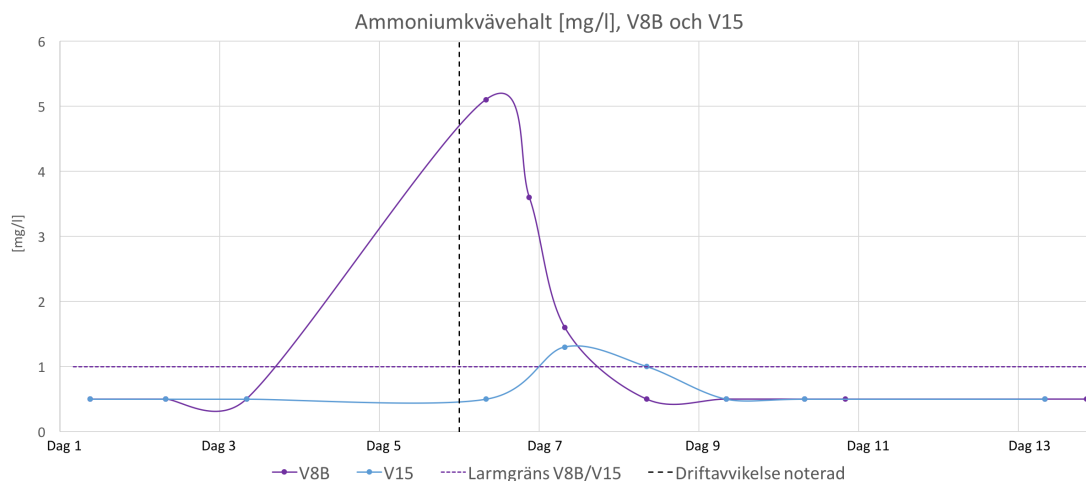
**Figur 18:** Ammoniumkvävehalt i strippersystemet.

Inga större avvikelser noteras för strippersystemet gällande total ammoniumkvävehalt vid driftavvikelsen, se figur 18.



**Figur 19:** Ammoniumkvävehalt i avsaltare, P6306 och V5B.

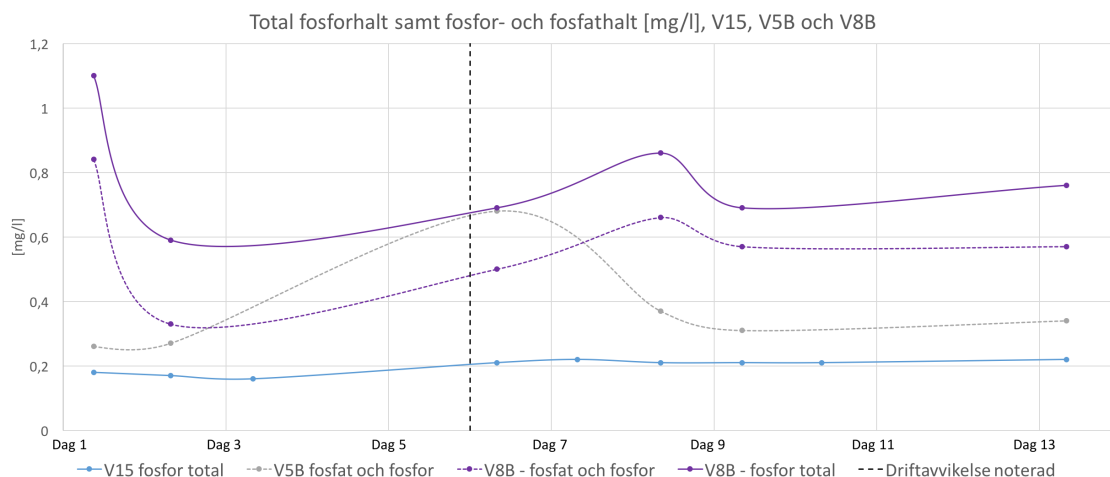
I figur 19 noteras inga större avvikelser av ammoniumkvävehalten i avsaltare, V5B och P6306 vid driftavvikelsen. Enligt teorin om att de förhöjda halterna av kväve kommer från V2104 borde det synas en förhöjning i avsaltarna. Dock kan det hända att de förhöjda halterna varit under en kort period och därmed missats i mätningarna som gjorts vid avsaltarna.



**Figur 20:** Ammoniumkvävehalt i V8B och V15.

Det kan observeras i figur 20 att ammoniumkvävehalten överstiger larmgränsen för V8B som visas i tabell 9, medan ammoniumkvävehalten i V15 förblir relativt låg. Ammoniumkvävehalten följer samma mönster som den totala kvävehalten, därför antas råoljan vara källan till de förhöjda halterna.

I figur 21 redovisas hur total fosforhalt samt hur fosfor- och fosfathalt varierar i mät punkt V15, V5B och V8B.



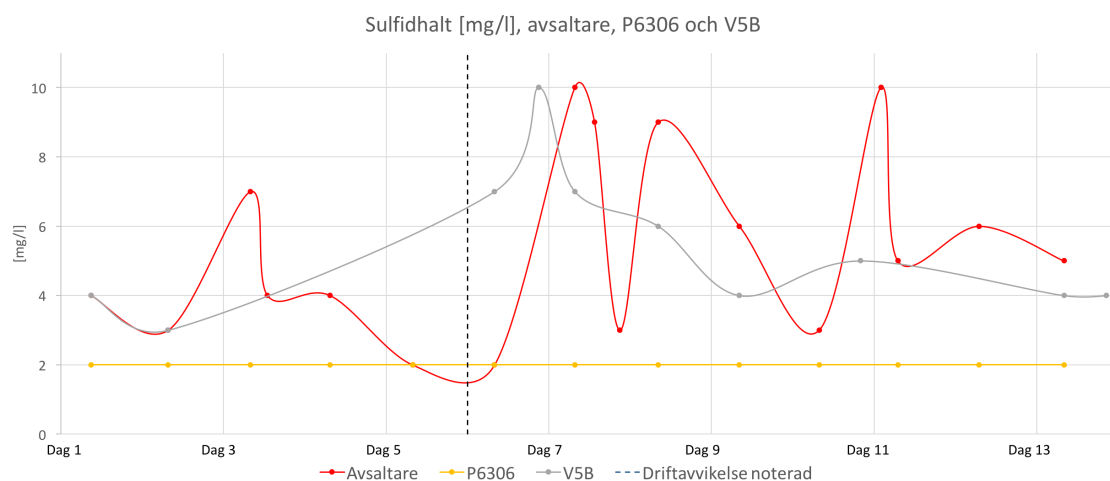
**Figur 21:** Total fosforhalt samt fosfor- och fosfathalt i V5B och V8B.

**Tabell 11:** Larmgränser total fosforhalt samt fosfor- och fosfathalt.

Mätpunkt	Larmgräns total fosfor [mg/l]	larmgräns fosfor och fosfat [mg/l]
V5B	–	3
V8B	0.4	0.35
V15	0.15	–

I figur 21 redovisas total fosforhalt samt fosfor- och fosfathalt, där samtliga värden i V8B och V15 har passerat larmgränserna, vilka redovisas i tabell 11.

I figur 22 redovisas hur sulfidhalt ändras i avsaltare, P6306 och V5B.



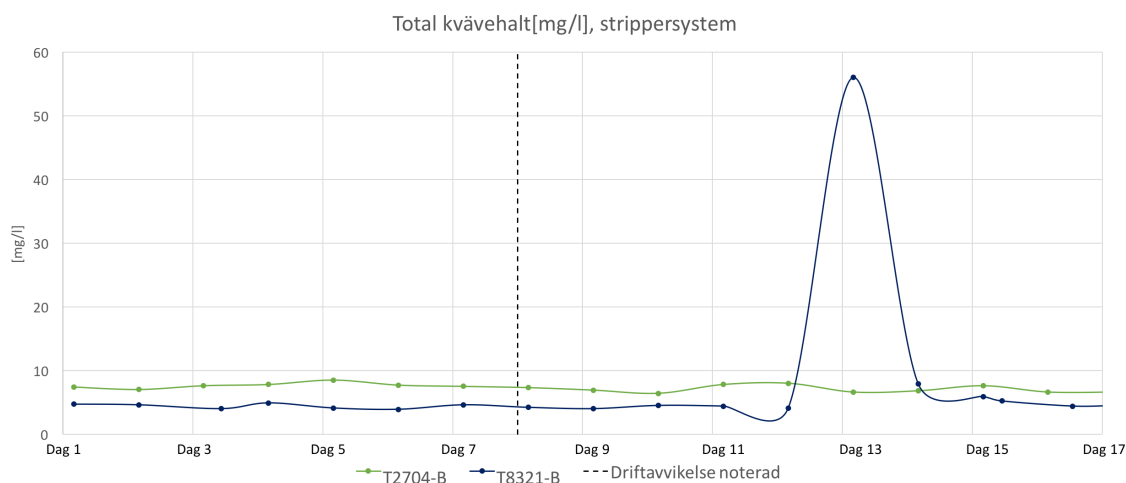
**Figur 22:** Sulfidhalt i avsaltare, P6306 och V5B.

I figur 22 går det att avläsa att sulfidhalt i mätpunkt V5B överstiger larmgränsen under hela intervallet enligt tabell 10. I figuren ser det ut som att avsaltarna ger

förhöjda värden först efter att driftavvikelsen har skett, men det kan bero på ett långt tidsintervall mellan mätningar.

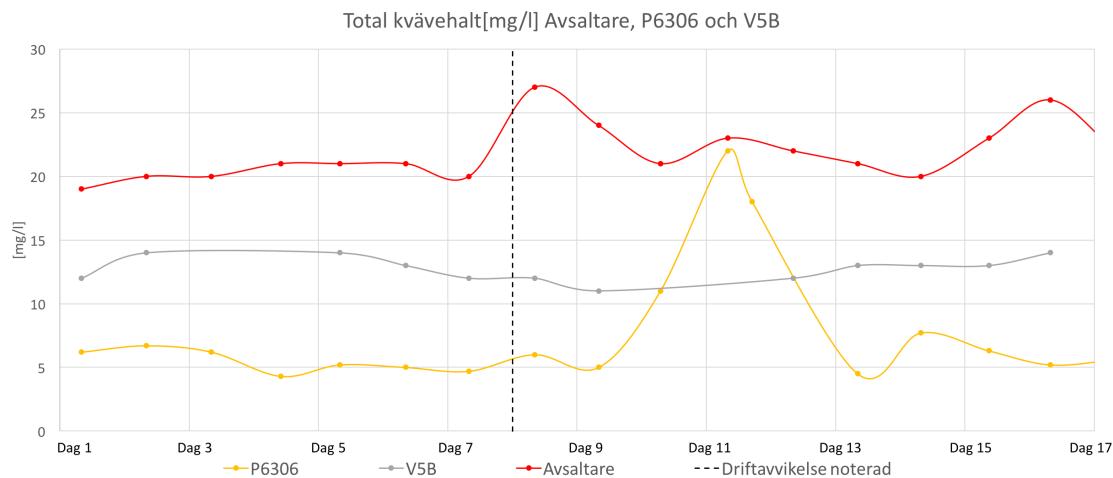
### 4.2.3 Fall 3

Hur total kvävehalt varierar i samtliga mätpunkter under ett tidsintervall på cirka 16 dagar redovisas i figur 23, 24 och 25. I figur 23 redovisas total kvävehalt i strippersystem, i figur 24 mätpunkter avsaltare, P6306 och V5B och i figur 25 mätpunkter V15 och V8B inklusive larmgränser.



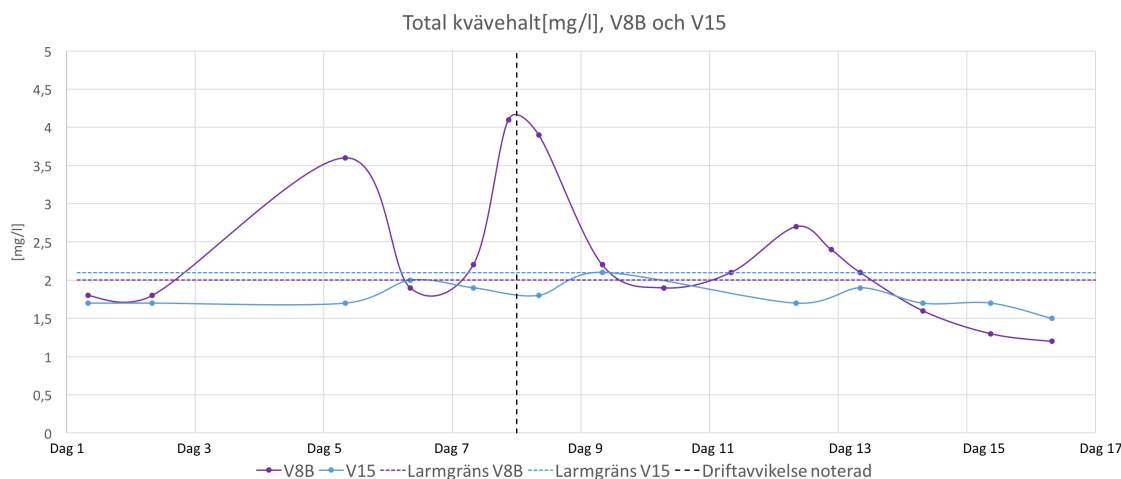
**Figur 23:** Total kvävehalt i strippersystemet.

I figur 23 går det ej att avläsa förhöjda kvävehalter i strippersystemet innan driftavvikelsen. Den kraftiga toppen några dagar senare studeras ej vidare, eftersom den inte anses relevant för aktuell driftavvikelse.



**Figur 24:** Total kvävehalt i avsaltare, P6306 och V5B.

I figur 24 avläses förhöjda halter i avsaltare efter driftavvikelsen ägt rum, vilka enligt tabell 8 överstiger larmgränser. Uppmätt värde är godkänt för tiden innan driftavvikelsen, vilket även gäller för P6306 och V5B.



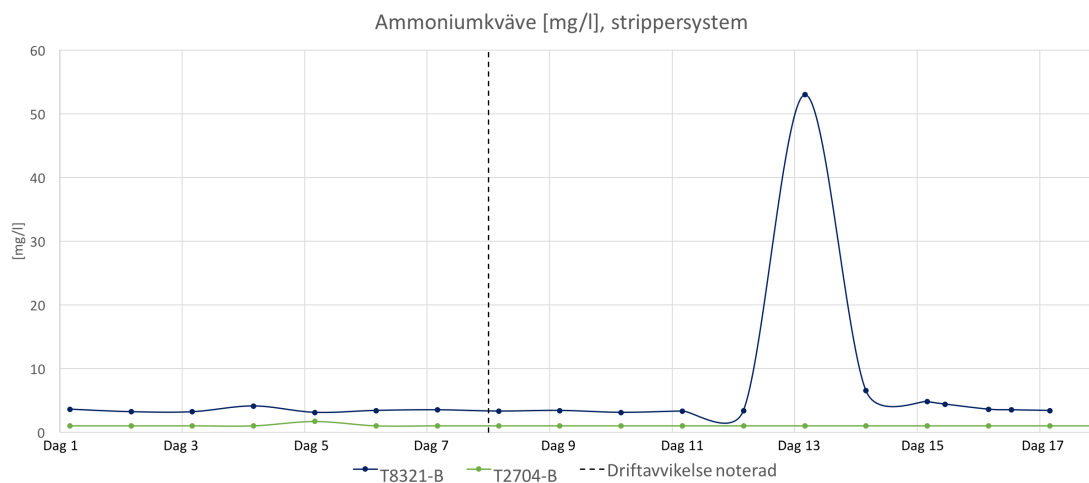
**Figur 25:** Total kvävehalt i V8B och V15 inklusive larmgränser.

I figur 25 går det att avläsa förhöjda värden för mätpunkt V8B vid datum för driftavvikelsen, vilka enligt tabell 8 överstiger larmgränserna. I figuren går dock ej att avläsa för höga halter i V15.

För fall 3 observeras liknande trender gällande total kvävehalt i avsaltarna och stripertornen som i fall 1. Dock noteras ej liknande trender gällande total kvävehalt i övriga mätpunkter. De förhöjda kvävehalterna i avsaltarna ser dock ut att komma först efter att driftavvikelsen uppträder i WWT. Förseningen kan vara missvisande, eftersom det är lång tid mellan mätningarna. Det finns alltså en möjlighet att kvävehalten gått upp kraftigt strax efter att mätningen innan driftavvikelsen gjordes. Om så är fallet innebär det förhöjda totala kvävehalter i avsaltarna innan driftavvikelsen. De förhöjda halterna skulle kunna komma från V2101, vilket talar för hypotesen gällande att råoljan är orsak till förhöjd kvävehalt.

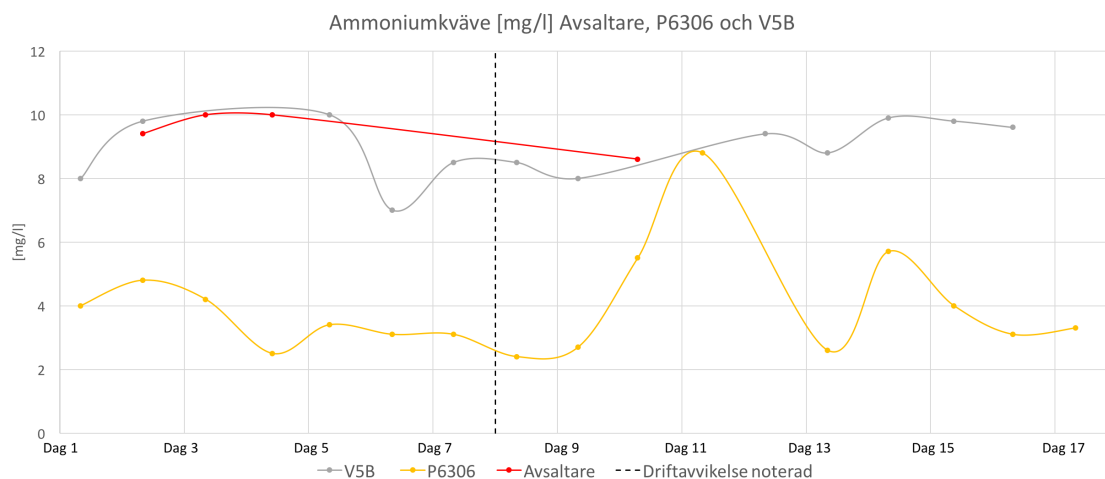
Figur 26, 27 och 28 redovisar hur ammoniumkvävehalten varierar. I figur 26 redovisas ammoniumkvävehalt i strippersystemet, figur 27 redovisar avsaltare, P6306 och V15 och i figur 28 redovisas mätpunkter V5B och V8B inklusive larmgränser.





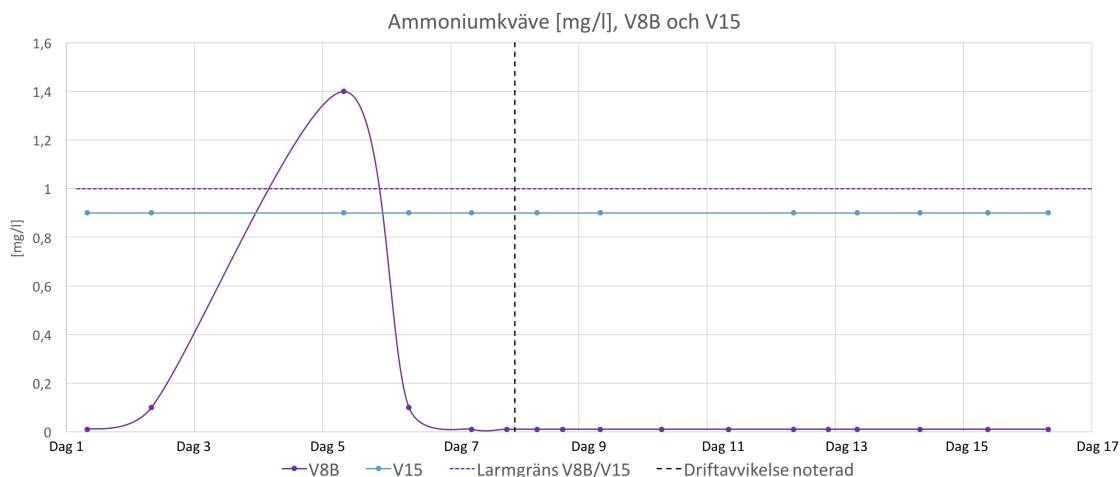
**Figur 26:** Ammoniumkvävehalt i strippersystem.

I figur 26 noteras inga förhöjda ammoniumkvävehalter innan driftavvikelsen i strippersystemet enligt samma mönster som fall 2 och 3.



**Figur 27:** Ammoniumkvävehalt i avsaltare, P6306 och V5B.

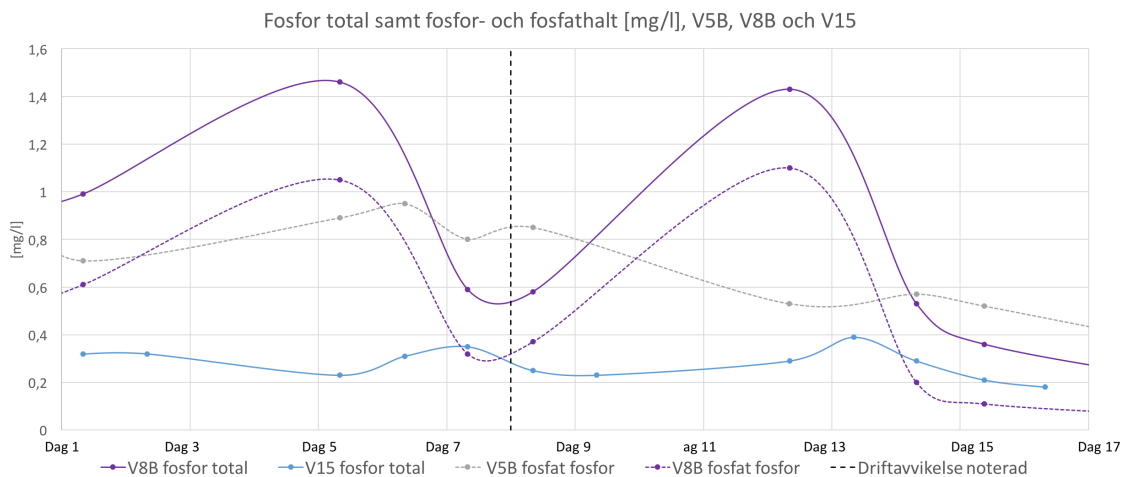
Utifrån avlästa värden i figur 27 och tabell 9 noteras inga halter över larmgränser i avsaltare, P6306 eller V5B vid driftavvikelsen.



**Figur 28:** Ammoniumkvävehalt i V8B och V15 inklusive larmgränser.

I figur 28 avläses värden under larmgräns vid tiden för driftavvikelsen i V8B och V15. Det kan dock noteras att ammoniumkvävehalten i V8B går över larmgränsen några dagar innan driftavvikelsen.

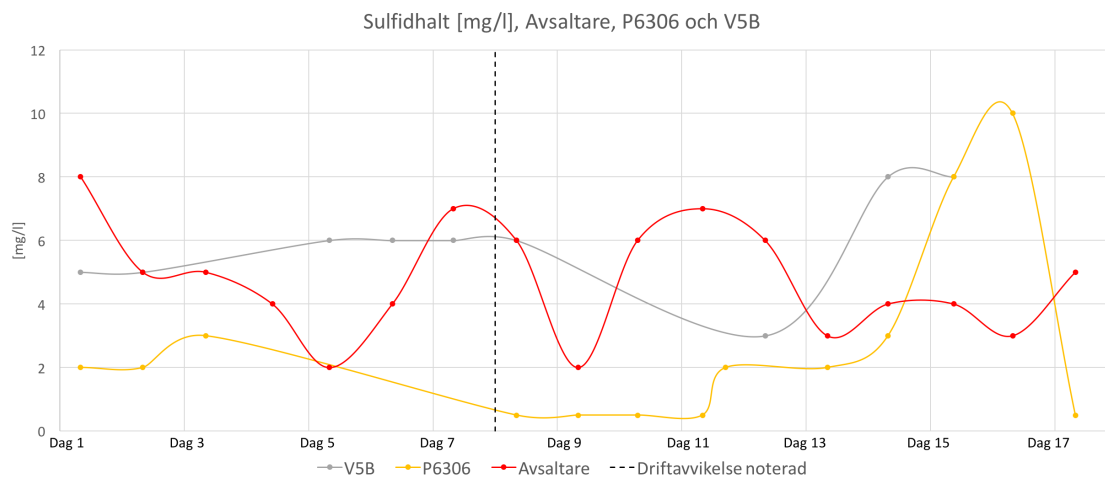
I figur 29 redovisas hur total fosforhalt samt fosfor- och fosfathalt varierar i mätpunkt V5B, V8B och V15 under ett tidsintervall på 20 dagar, under samma period som ovan.



**Figur 29:** Total fosforhalt samt fosfor- och fosfathalt i mätpunkter V5B, V8B och V15.

Enligt uppmätta värden i figur 29 och tabell 11 överstiger total fosforhalt i V8B och V15 larmgränserna. Även fosfor- och fosfathalt överstiger larmgränsen vid driftavvikelsen.

I figur 30 redovisas hur sulfidhalt varierar i avsaltare, P6306 och V5B under ett tidsintervall på 16 dagar.



**Figur 30:** Sulfidhalt i avsaltare, P6306 och V5B.

Genom jämförelse av uppmätta sulfidhalter i figur 30 och värden från tabell 10 noteras att samtliga uppmätta värden överstiger larmgränser. Likt fall 1 skulle de förhöjda sulfidhalterna kunna orsaka att ASU inte fungerar tillfredställande. Höga sulfidhalter efter avsaltarna indikerar att de inte fungerar optimalt.

## 4.3 Åtgärder

Efter kartläggning och studie av tre driftavvikelser föreslogs fyra åtgärder för att öka stabilitet i driften av WWT och därmed minska risk för utsläpp till Brofjorden.

### 4.3.1 Kvalitetskontroll av råolja

Resultatet av kartläggningen och studien av de tre driftavvikelserna indikerade att en möjlig källa till förhöjda totala kvävehalter skulle kunna vara råoljan. I dagsläget analyseras ej total kvävehalt i råoljan, utan enbart salthalt, svavelvätehalt, vattenhalt och densitet. Genom att addera ytterligare en analysmetod för att undersöka kvävehalten i råolja kan ytterligare information erhållas, som gör att driften kan optimeras. Driftteknikern kan då på förhand veta om det finns risk för hög kvävehalt i V2101 och då kunna reglera vattenflödet till V2104, för att inte få allt för hög kvävehalt i avsaltarna och riskera att sätta dem ur balans. Eftersom råolja levereras med båt ungefär vart tredje dygn blir inte antal prover som behöver analyseras många per vecka.

Det finns fyra analysmetoder för total kvävehalt i råolja enligt ASTM international (American Society for Testing and Materials International). I första hand är inte dessa analysmetoder menade att användas för analys av råolja, men de används även för detta ändamål [16].

En av de fyra metoderna är "Oxidativ Combustion and Chemiluminescence Detection Method", där prov introduceras med en ström av inert gas till en brännkammare

där det förångas. Sedan transporteras provet till en zon med hög temperatur, där syre introduceras och organiskt bundet kväve omvandlas till NO (*kväveoxid*). Ozon tillsätts och reagerar med NO till NO<sub>2</sub> (*kvävedioxid*) i exciterat tillstånd. När det exciterade NO<sub>2</sub> återgår till den lägre energinivån emitteras ljus, vilket detekteras med hjälp av en fotomultiplikator. Mängden detekterat ljus svarar mot mängden NO [17], [16]. Xplorer NS är en modell som utför en sådan analys. Denna utrustning, installerad och klar, kostar ungefär 600 000 kr efter uppgift från tillverkarna [17].

### 4.3.2 Mätpunkter

Att tidigt upptäcka förhöjda kvävehalter skulle ge möjlighet att vidta åtgärder. Genom att införa en extra mätpunkt efter avsaltarna skulle information fås tidigare. Om kompatibilitet finns skulle det vara möjligt att införa en automatisk provtagning med hjälp av en kväveanalysator. Ett förslag på en sådan kväveanalysator är NPW-160 [18]. Denna analysator kan mäta kvävehalter en gång i timmen i en mindre ström som kan omdirigeras genom analysatorn från huvudströmmen. Vid avvikelser finns en inbyggd larmfunktion. Om NPW-160 eller en liknande analysator kunde implementeras skulle åtgärder kunna tas tidigt vid en avvikelse där larmet går, och på så sätt kontrollera utsläppen av förhöjda kvävehalter. Ett alternativ till en åtgärd är att strömmarna med förhöjda halter skulle kunna lagras i någon form av bufferttank och sedan matas in i FFU eller ASU i halter som dessa klarar av att behandla.

### 4.3.3 Förändring i ASU

Enligt resultatet överstiger sulfidhalterna i inflödet till ASU (V5B) larmgränsen i samtliga tre fall, framför allt fall 1 och fall 3. Sulfider har visat en inhiberande effekt på nitrifieringen om halterna överstiger 3 mg/l. Vid  $6.4 \pm 0.5$  mg/l sulfid påverkas nitritoxidationen där följden blir ackumulering av nitrit [19]. Det har även dokumenterats att biologisk nitrifiering är betydligt känsligare för sulfider då syre inte finns tillgängligt [20]. Inga konkreta åtgärder kunde hittas i litteraturen för att minska varken effekten av sulfider eller sulfidhalten i den biologiska reningen.

Det finns ett flertal nya metoder för biologisk kväverening omnämnda i litteraturen. Dessa är baserade på bland annat partiell nitrifiering och Anammox (*anaerob ammonium oxidation*). Vid fullständig nitrifiering utförs oxidation av NH<sub>4</sub><sup>+</sup> till NO<sub>2</sub><sup>-</sup> som sedan oxideras vidare till NO<sub>3</sub><sup>-</sup> [21]. Den grundläggande principen för partiell nitrifiering bygger på att oxidera NH<sub>4</sub><sup>+</sup> till NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, som sedan omvandlas till N<sub>2</sub> genom denitrifiering. Därför krävs att NO<sub>2</sub><sup>-</sup> ackumuleras.

Partiell nitrifiering är en fördelaktig metod, speciellt då vattnet som renas innehåller höga halter av NH<sub>4</sub><sup>+</sup> [21]. Skillnaden jämfört med att ha fullständig nitrifiering och denitrifiering är att produktion av NO<sub>3</sub><sup>-</sup> undviks. Några fördelar som det medför är att syrekonsumtionen minskar i de aeroba faserna vilket leder till en mindre ener-

giförbrukning. Även utsläpp av CO<sub>2</sub> och slamproduktion reduceras. Kvävereningen har uppmäts vara runt 85 % [22].

I praktiken kan partiell nitrifiering implementeras genom bland annat SHARON process (*Single reactor High activity Ammonia Removal over Nitrite*) eller genom en kombinerad SHARON-Anammox-process [22]. En kostnadsuppskattning av utrustningen gjordes och uppgick till nästan 192 miljoner kronor. Resultatet kan ses i tabell 12, för uträkning se *Bilaga A - Kostnadsberäkning förändring ASU*.

**Tabell 12:** De stora processkomponenterna som behövs vid Förändring i ASU, kapacitet och den totala kostnaden för åtgärden.

Processkomponent	Kapacitet	Pris [kr]
Pump	240 m <sup>3</sup> /h	295 520
Motor till pump	56 kW	1 775
SHARON Anammox-utrustning	—	191 584 495
Totalkostnad	—	191 881 790

#### 4.3.4 Recirkulation

I nuläget pumpas 300 m<sup>3</sup>/h vatten ut från oxidationsdammen till Brofjorden och recirkulationen av vatten från oxidationsdammen till råvattenintaget är obefintligt. Åtgärden som föreslås är att pumpa hälften av vattnet från oxidationsdammen till RWT (*Raw Water Treatment*) och på så sätt halvera mängden vatten som släpps ut till Brofjorden. Om det är möjligt, trots åtgärden, att bibehålla samma låga koncentrationer av kväve, sulfider och liknande i oxidationsdammen skulle det innebära en minskning av flertalet ämnen som i dagsläget släpps ut till Brofjorden. Inköp av råvatten skulle kunna minskas med motsvarande mängd som återcirkuleras, vilket enligt förslaget skulle innebära en besparing på cirka 150 m<sup>3</sup>/h. I dagsläget finns en tidsbegränsning för hur länge brandkåren kan använda maximalt vattenflöde till släckningen eftersom intaget av råvatten är begränsat. Om denna åtgärd skulle införas skulle det innebära att brandkåren kan använda max släckningskapacitet under en längre tid och möjligheten att släcka svåra bränder ökar.

Beräkningen för pumpen och motorn till pumpen beräknades på samma sätt som för enheterna i ASU-åtgärden. Den enda skillnaden var att pumpen dimensioneras för flödet 150 m<sup>3</sup>/h. Kostnaden kan ses i tabell 13.

För att estimeras kostnaden för en ny buffertank är det kritiskt att välja en volym då kostnaden är starkt beroende av denna. För att buffertanken ska fylla sitt syfte och tillåta att höga halter av föroreningar upptäcks i tid valdes storleken till 5000 m<sup>3</sup> vilket ger en teoretisk uppehållstid på cirka 33 timmar. Eftersom buffertanken är den i särklass största posten blir valet av storlek på tank avgörande för slutpriset. Om det skulle vara möjligt att ta prov oftare skulle det vara möjligt att använda en mindre tank och på det sättet minska kostnaderna väsentligt. För att beräkna

kostnaden med ekvation 13 konverterades tankens volymen till gallons. Kostnaden kan avläsas i tabell 13.

För att bedöma rörens utsträckning användes ©Google Maps och den uppskattades till cirka 600 m, se figur 31.

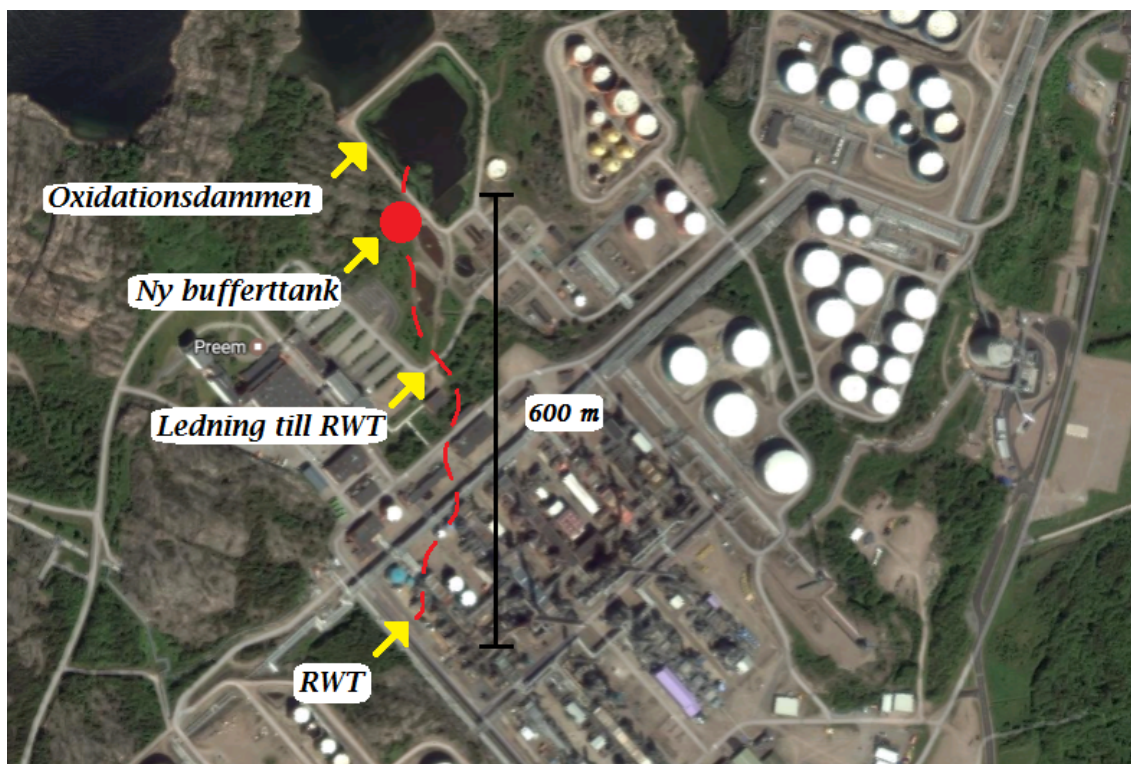
Kostnadsberäkningen av ledning mellan oxidationsdammen och RWT är svår att estimera eftersom den kommer gå nära befintlig processutrustning och potentiellt måste den delvis dras under marknivå. På grund av otillräckligt med information uteslöts denna kostnad ur beräkningarna.

**Tabell 13:** De stora processkomponenterna till recirkulations-åtgärden, kapacitet och den totala kostnaden för åtgärden.

Processkomponent	Kapacitet	Pris [kr]
Pump	150 m <sup>3</sup> /h	257 522
Motor till pump	56 kW	15 254
Buffertank	5000 m <sup>3</sup>	21 559 359
Ledning till RWT	600 m	—
<b>Totalkostnad</b>	—	<b>21 832 135</b>

I det beräknade fallet skulle en investering på drygt 21.8 miljoner kronor krävas för återcirkulationen enligt Langfaktor-modellen (exklusive rördragning).

En uppskattning på hur mycket pengar som sparas genom att recirkulera vatten beräknas med hjälp av minskad kostnaden för råvatten. Kostnaden är 1.23 kr/m<sup>3</sup> exklusive moms [23]. Det innebär att besparingen för råvatten uppgår till cirka 4400 kr/dygn. Under ett år sparas drygt 1.6 miljoner kronor. Med dessa siffror fås en PBP (*Payback Period*) på 13.5 år. Exklusive tanken blir PBP cirka två månader.



**Figur 31:** ©Google Maps. Vy ovanifrån som visar PREEM Lysekil för att bedöma ledningens längd mellan oxidationsdammen och RWT.

PREEM har undersökt åtgärden att recirkulera vatten från oxidationsdammen i en rapport som kom till kännedom först i ett sent skede och dess resultat har ej kunnat studeras.

## 5 Diskussion

### 5.1 Kartläggning

Studien begränsades till de viktigaste och största strömmarna som kan tänkas påverka driften, vid driftavvikelseerna har således ett flertal mindre strömmar ej studerats. På grund av dessa begränsningar ser den verkliga processen ej ut som de schematiska bilder som presenterats i denna rapport. De viktigaste strömmarna är dock inkluderade och därför anses bilderna vara utförliga nog för arbetets syfte.

### 5.2 Driftavvikelser

Förhöjda totala kvävehalter kan inte spåras till T8321-B och T2704-B för något av de tre fallen. Förhöjningen antas därför vara till följd av ökade totala kvävehalter i V2101 och kan spåras tillbaka till råoljan. Då det saknas mätdata för mätpunkterna

V2104 och V2101 för både fall 2 och 3 kan inte teorin om förhöjda kvävehalter i råoljan styrkas lika väl som i fall 1.

För att förstå varför det är möjligt att de förhöjda totala kvävehalterna i avsaltarna, vilka visas i figur 17, orsakar förhöjda halter i V8B tre dygn senare behöver uppehållstiden i utjämningsstankarna diskuteras. En teoretisk uppehållstid i en tank på 1000 m<sup>3</sup> med ett inflöde på 100 m<sup>3</sup>/h är 10 timmar. Detta förutsätter dock att det i tanken är ett perfekt pluggflöde mellan inkommande och utgående ström, vilket inte är troligt. Sannolikt kommer alltså en förhöjd halt av ett ämne vid 0 timmar kunna observeras betydligt tidigare än efter 10 timmar. Om det, som i fallet med utjämningsstankarna, finns flera tankar är läget ett annat. I detta fall kan det vara så att inkommande vatten matas till ena tanken och utgående vatten kommer från den andra. Om detta skulle vara fallet fås en garanterad uppehållstid för utjämningsstankarna på 48 timmar, vilket är tiden det tar att fylla en tank. Med detta som grund kan de förhöjda halterna från avsaltarna, se figur 17, mycket väl orsakas av de förhöjda halterna i V8B i fall 2.

En annan trend som kan observeras i samtliga tre fallen är att sulfidhalten i V5B, in till ASU, överskrider tillåten larmgräns. Förhöjda sulfidhalter kan ställa till problem i ASU, eftersom det kan förhindra den biologiska nitrifieringsprocessen, varför det är en annan teori bakom driftavvikelserna. En hindrad nitrifiering kan leda till att en ackumulation av nitrit byggs upp i ASU, vilket får till följd att den totala kvävehalten också blir högre.

Fall 2 och fall 3 har mätpunkter för total fosforhalt samt fosfor- och fosfathalt, men då mätdata inte har någon avvikelse under tiden för driftavvikelsen har ej lika stor vikt lagts på dessa.

En utmaning vid studie av driftavvikelser var att mätningar tas med olika frekvens, ibland upp till två dygn, i olika mätpunkter, och det kan därför vara svårt att tyda plottad mätdata. Det kan ibland se ut som att ökning först skett efter driftavvikelse ägt rum, medan det egentligen kan ha varit förhöjda halter mellan de två mätningarna.

Ytterligare en utmaning var att mätpunkterna skiljde mellan de olika fallen som studerades. Några av de viktigaste mätdata som är förknippade med fall 1 var de provtagningar som var specialbeställda för V2101 och V2104. Denna data saknas för de andra fallen, vilket gör det omöjligt att direkt jämföra driftavvikelserna med varandra i dessa mätpunkter.

En sammanfattning av de viktigaste observationer från de tre fallen då driftavvikelser ägt rum presenteras i tabell 14.



**Tabell 14:** Trender som noterats vid studie av tre fall med driftavvikelser.

Fall	Trender som noterats vid driftavvikelse
1	Förhöjda kvävehalter i V2101 strax innan driftavvikelsen, vilket leder till hypotesen att råoljan är källan till de förhöjda kvävehalterna. En annan hypotes är att de förhöjda sulfidhalter i V5B, dvs in till ASU, orsakar att driften i ASU inte fungerar tillfredställande. Förhöjda sulfidhalter noteras även efter avsaltarna, vilket indikerar att de inte fungerar tillfredställande.
2	Förhöjda kvävehalter i avsaltarna innan driftavvikelsen, vilket kommer från V2101 och leder till hypotesen att råoljan är källan till de förhöjda kvävehalterna. Förhöjda sulfidhalter i V5B, dvs in till ASU, orsakar att driften i ASU inte fungerar tillfredställande. Fosfor- och fosfathalt överskrider larmgränser i V5B, V15 och V8B.
3	Förhöjda kvävehalter i avsaltarna innan driftavvikelsen, vilket kommer från V2101 och leder till hypotesen att råoljan är källan till de förhöjda kvävehalterna. En annan hypotes är att de förhöjda sulfidhalter i V5B, dvs in till ASU, orsakar att driften i ASU inte fungerar tillfredställande. Förhöjda sulfidhalter noteras även efter avsaltarna, vilket indikerar att de inte fungerar tillfredställande. Fosfor- och fosfathalt överskrider larmgränser i V5B, V15 och V8B.

### 5.3 Åtgärder

De fyra åtgärdsalternativen som utformats utifrån studie av tre fall då driftavvikelser inträffat, presenteras i listan nedan.

- Kvalitetskontroll av råolja
- Kväveanalysator med extra mätpunkt
- Förändring i ASU
- Recirkulation av vatten från oxidationsdammen

Föreslagen metod för att göra kvalitetskontroll av råolja är en relativt simpel metod för att undersöka hur hög total kvävehalt oljan har. Baserat på hur ofta råolja levereras till PREEMs anläggning innebär förslaget inte mer än två till tre extra prover i veckan på laboratoriet. Investeringen av utrustning för åtgärden är förhållandevis billig. Kvalitetskontroll av råoljan ger tidigt en indikation om hur kvävehalterna i avsaltarna och WWT kommer påverkas.

Den föreslagna kväveanalysatorn NPW-160 (eller en med liknande egenskaper) klarar endast av att analysera strömmar med låg flödesvolym och ett specifikt temperatur- och tryckintervall. Att införa en extra mätpunkt med en automatisk kväveanalysator innebär därför att det krävs en ombyggnad i processen. En mindre ström skulle behöva föras från huvudströmmen efter avsaltarna, och eventuellt justeras för att uppnå

rätt förhållanden för analys. Då denna analysator endast hjälper till att upptäcka en driftavvikelse krävs även en handlingsplan då avvikelsen sker. Det är även osäkert om informationen från analysen levereras i tid för att genomföra denna handling. Förslaget som nämndes ovan under *Åtgärder* var att lagra vatten med förhöjda halter i en bufferttank, varifrån vattnet sedan matas in i FFU eller ASU i hanterbara halter för att få en effektiv rening. Det märks tydligt att denna åtgärd kräver mycket arbete och resurser för att genomföra, vilket gör denna åtgärd mindre attraktiv.

Förändringar i ASU som verkar mest intressanta är att undersöka möjligheter till att komplettera nuvarande kväverening med någon metod som via partiell nitrifiering omvandlar  $\text{NH}_4^+$  över  $\text{NO}_2^-$ . Sådana metoder skulle i teorin vara mer fördelaktiga än nuvarande reningssystem med aktivt slam, eftersom de klarar av att behandla högre kvävehalter. Det skulle medföra en större marginal för larmgränser av kvävehalt och vidare skulle mindre avvikelser inte påverka reningen. Andra fördelar med partiell nitrifiering skulle vara att även energiförbrukning,  $\text{CO}_2$  utsläpp och slamproduktion skulle reduceras med bibållna effektivitet i kvävereningen runt 85 %.

Dock finns även nackdelar med partiell nitrifiering. Exempelvis skulle det krävas en ackumulation av nitrit vilket innebär en viss risk då det är ett giftigt ämne och inte bör komma ut i naturen i för höga halter. Praktiskt skulle det innebära att flöden kan behöva omledas och en ny tankreaktor troligtvis skulle behöva installeras. Under en viss uppstartsperiod skulle också reningen bli begränsad.

Investeringen för åtgärden med recirkulation är stor och trots besparingar tar det lång tid innan det skulle löna sig. Övriga potentiellt positiva effekter är dock viktiga att ta med i beräkningarna, exempelvis ökad tid för släckkapacitet och minskade utsläpp. Investeringen för tanken är den absolut mest kostsamma posten i ekvationen. Eftersom vattnet i bufferttanken ska vara helt rent borde en lösning där en damm används diskuteras. Alternativt skulle en befintlig tank på området kunna användas till ändamålet. Om något av dessa förslag skulle vara en möjlighet skulle kostnaderna reduceras kraftigt till att endast bestå av pump, motor och ledning. På så sätt skulle PBP reduceras till ringa två månader, exklusive ledning, vilket betyder att investeringen skulle börja gå med vinst på mycket kort sikt. Då åtgärden redan är utredd och förkastad av PREEM hamnar den sist på listan.

## 6 Slutsats

Efter kartläggning och analys av driftavvikelserna i WWT pekar resultaten på att förhöjda halter av kväve och till viss del sulfider är orsaken till driftavvikelserna. Exakt hur kväve och sulfider hänger samman har inte kunnat fastställas. Åtgärdernas fokus har legat på att förhindra förhöjda halter av kväve in i WWT då dess inverkan tycks ha varit starkast.

Av de fyra åtgärder som föreslagits anses det bästa alternativet vara att göra kontroll på råoljan innan den används i processen. Denna åtgärd kräver låga investeringskostnader och förhållandevis liten arbetsinsats. Näst på listan över åtgärder som bedöms rimliga föreslås en kväveanalysator direkt efter avsaltarna. Det är inte helt

säkert att åtgärden kommer komma med tillräckligt exakt information i tid för att justera nödvändiga parametrar. Vidare kommer troligen en sådan åtgärd innebära relativt stora kostnader i både investering och underhåll. Som åtgärd nummer tre föreslås förändring i ASU i form av en kompletterande nitrifieringsprocess. Detta kräver att en ny reaktor installeras efter luftningsbassängerna samt att strömmarna kring ASU delvis kan behöva omledas. Detta förslag innebär stora kostnader och är mer komplicerad än de två första förslagen. Eftersom förslaget med recirkulation skulle bli kostsamt och troligen inte kan åstadkomma de förväntningar på reducerade utsläpp, föreslås det inte som en möjlig åtgärd.

## Referenser

- [1] Inc AECOM. Petroleum refining water/wastewater use and management. Operations Best Practice Series 2010. 2010.
- [2] Lundh L Utgenannt A, Bengtsson J. Uppstartsmöte 20170120 Miljöarbete. Lysekil, 2017.
- [3] Parkash S. Refinery Water Systems. In *Refining Processes Handbook*, chapter 9, pages 242–269. 2003.
- [4] Lunsford K Lyddon L Mariana S Addington L, Fitz C. Sour Water: Where it comes from and how to handle it. *Digital Refining Processing, Operatin and Maintenance*, 2011.
- [5] Artursson J. Mekanisk rening. Technical report, Scanraff, TEEM, Lysekil, 2002.
- [6] Holmberg K. *Yt och kolloidkemi*. Chalmers Tekniska Högskola, 2007.
- [7] Wu Z Wang LK, Fahey EM. Dissolved Air Flotation. In Shamas N K Wang LK, Hung Y.T, editor, *Physicochemical Treatment Processes*, pages 431–500. Humana Press, Totowa, NJ, 2005.
- [8] FRC systems international. How a DAF system works, 2013.
- [9] Glen T.L Nancy G. Filipe C.D.M Grady C.P, Leslie Jr. D. Biological Wastewater Treatment, 2011.
- [10] Artursson J. Processbeskrivning - ASU. Technical report, PREEM Lysekil, Lysekil, 2014.
- [11] Artursson J. Processbeskrivning - allmän. Technical report, PREEM Lysekil, Lysekil, 2012.
- [12] Bahadori A. *Waste Management in the Chemical and Petroleum Industries*. John Wiley & Sons, Incorporated, 1 edition, 2013.
- [13] Nogueira R Purkhold U Lee N Daims H Wagner M, Loy A. Microbial community composition and function in wastewater treatment plants. *Antonie van Leeuwenhoek*, 81:665–680, 2002.
- [14] Economic Indicators. *Chemical Engineering*, 124(3):92, 2017.
- [15] Seader Jr D Lewin D R Seider, W D. *PRODUCT and PROCESS DESIGN PRINCIPLES: SYNTHESIS, ANALYSIS AND EVALUATION*. John Wiley & Sons, 2009.
- [16] ASTM D8056-16 Standard Guide for Elemental Analysis of Crude Oil.
- [17] Trace Elemental Instruments. XPLOERER-NS, 2016.
- [18] TOA-DKK Corporation. NPW-160, automatic total nitrogen/phosphorus/COD analyzer, 2010.

- 
- [19] Cuervo López F M Texier A C Bejarano Ortiz D I, Thalasso F. Inhibitory effect of sulfide on the nitrifying respiratory process. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 88(7):1344–1349, 2013.
- [20] An Y Hu D Qiao W Wang L Zhou Z, Xing C. Inhibitory effects of sulfide on nitrifying biomass in the anaerobic-anoxic-aerobic wastewater treatment process. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 89(2):214–219, 2014.
- [21] Zhu G Peng Y. Biological nitrogen removal with nitrification and denitrification via nitrite pathway. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 73(1):15–26, 2006.
- [22] Mulder J. W. Van Loosdrecht M. C M Heijnen J. J. Hellinga C, Schellen A A J C. The SHARON process: An innovative method for nitrogen removal from ammonium-rich waste water, 1998.
- [23] Lysekils Energi Vind AB. Brukningsavgifter för vattentjänster.
- [24] Van Loosdrecht M Van Dongen U, Jetten M. The sharon®-anammox® process for treatment of ammonium rich wastewater. *Water Science and Technology*, 2001.
- [25] Economic Indicators. *Chemical Engineering*, 116(13):64, 2009.

## A Kostnadsberäkning förändring i ASU

Beräkningen av kostnaden för SHARON-Anammox-processen är baserad på en total investeringskostnad [24]. Den totala kostnaden omvandlades från floriner till dollar. Därefter beräknades kostnaden om till kronor innan den sattes in i ekvation 5. Då artikeln är publicerad 2001 behövs ett kostnadsindex från 2001 (Index = 394.3) [25]

För beräkning utav kostnad för pump användes ekvationerna 5, 6, 7, 8. Eftersom det är vatten som pumpas valdes materialet till gjutjärn vilket ger  $F_M=1$ . Pumpen valdes som vertikalt delad vilket ger  $F_T=1$ . Höjdskillnaden som pumpen ska åstadkomma sattes till 15 m vilket räknades om till fot.

För beräkning utav kostnad för motor till pumpen användes ekvationerna 9, 10, 11, 12. Det lägsta antalet hästkrafter som gick att välja för ekvation 10 giltighetsintervall var 75, vilket användes för  $P_B$  i ekvation 12. Vattens densitet valdes vid 20 °C och flödet 240 m<sup>3</sup>/h gjordes om till gallons/minut.

## B Bidragsrapport

### Ansvarsområden

- Planering  
Hela gruppen deltog i planering av kandidatprojektet.
- Informationshämtning/inläsningsdel
  - Informationshämtning - Hela gruppen hämtade information från olika källor.
  - Referenshantering - Thomas Grahn och Anna Lidén
- Metoder - val/utveckling  
Gjordes mestadels under de inledande gruppmötena som hölls minst en gång per vecka. Här deltog alla efter bästa förmåga och om inte konsensus kunde nås tillämpades majoritetsbeslut.
- Genomförande  
Tre besök på PREEM i Lysekil med samtliga medlemmar för inhämtning av data från IP21 och labonline samt rundtur på anläggningen. Thomas, Robert och Anna besökte PREEM ytterligare en gång (16/3 2017) för att få feedback på föreslagna åtgärder. Litteraturstudie genomfördes av samtliga medlemmar. Olika ansvarområden anges längre ned i bidragsrapporten.

### Bidrag till problemlösning, syntes och analys

- Problemlösning
  - Kontakt med PREEM - Thomas Grahn, Robert Jensen, Robin Front, Anna Lidén, William Phung.
  - ShareLaTeX/kompilations-problem - Robin Front
  - Stavningskontroller - Robin Front och William Phung
  - Åtgärder - Samtliga gruppmedlemmar.
- Kreativitet, idériakedom  
Samtliga medlemmar tillförde kreativitet och idériakedom
- Analys av projektrelaterat material
  - Analys av data från IP21 - Alla medlemmar analyserade data
- Diskussionsbidrag  
Hela gruppen bidrog till olika delar av diskussionen.
- Slutsatser  
Hela gruppen bidrog till slutsatser som drogs.

### Huvudansvarig författare av avsnitt

- Förord - Thomas Grahn
- Sammanfattning - Anna Lidén och Elin Johansson
- Abstract - Thomas Grahn
- 1. Inledning - Anna Lidén och Thomas Grahn

- 2. Vattenrening på ett oljeraffinaderi (inledande text) - Thomas Grahn
  - 2.1 Survattnets väg - Thomas Grahn
  - 2.2 Avsaltare - Robert Jensen
  - 2.3 Avloppsutjämningsstankar - Robert Jensen
  - 2.4 Kemisk rening - Anna Lidén och William Phung
- 2.5 Biologisk rening i ASU
  - 2.5.1 Rening med bioslam - Elin Johansson
  - 2.5.2 Biologisk kväverening - Robin Front
- 3. Metod - Robert Jensen
- 4. Kartläggning, driftavvikelser och åtgärder
  - 4.1 Kartläggning - Robin Front och William Phung
  - 4.2 Driftavvikelser
    - Skapa grafer av data - Robin Front, Anna Lidén och William Phung
    - Texter och axlar till grafer - Robin Front
    - Beskrivande texter - Robin Front, Anna Lidén och William Phung
  - 4.3 Åtgärder
    - 4.3.1 Mätpunkter - Robin Front
    - 4.3.2 Förändring ASU - Elin Johansson och Robert Jensen
    - 4.3.3 Kvalitetskontroll av råolja - Anna Lidén
    - 4.3.4 Recirkulation - Robert Jensen och Thomas Grahn
- 5. Diskussion
  - 5.1 Kartläggning - Robin Front
  - 5.2 Driftavvikelser - Anna Lidén och Robin Front
  - 5.3 Åtgärder - Elin Johansson, Robin Front, Thomas Grahn, Robert Jensen och Anna Lidén
- 6. Slutsats - Thomas Grahn

#### **Eventuell redaktionell ansvarsfördelning bör anges**

- Framsida - Robin Front
- Referenser - Anna Lidén
- ShareLaTeX-kodning - Robin Front
- Rapportlayout - Robin Front
- Loggbok - Robert Jensen