

---

Svenskt Vatten

UTVECKLING

Rapport  
Nr 2024-4

---

# Sensorsystem för detektion av olja i avloppsvatten

---

Kristina Fogel  
Ingemar Petermann  
Anatol Krozer  
Elin Kusoffsky

---

# Svenskt Vatten

## UTVECKLING

---

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området.

Författarna är ensamt ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten AB

POSTADRESS BOX 14057, 167 14 Bromma

BESÖKSADRESS Gustavslundsvägen 12, 167 51 Bromma

TELEFON 08-506 002 00

E-MAIL [svensktvatten@svensktvatten.se](mailto:svensktvatten@svensktvatten.se)

[www.svensktvatten.se](http://www.svensktvatten.se)

---

|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RAPPORTENS TITEL    | Sensorsystem för detektion av olja i avloppsvatten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| TITLE OF THE REPORT | Sensor system for detection of oil in sewage water                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| FÖRFATTARE          | Kristina Fogel, Ingemar Petermann, Anatol Krozer och Elin Kusoffsky, RISE Research Institutes of Sweden AB                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| RAPPORTNUMMER       | 2024-4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| ANTAL SIDOR         | 41                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| SAMMANDRAG          | Finns det någon sensorteknik som kan detektera olja i spillvatten, som till skillnad från dricksvatten innehåller många olika organiska föreningar? Projektet har testat dels fluorescenssensorer, dels en elektrokemisk sensor, en impedanssensor. Det visade sig att båda sensorteknikerna kan detektera olja i spillvatten, men att de skiljer sig när det gäller biobaserad RME-olja (rapsmetylester).        |
| SUMMARY             | Is there any sensor technology that can detect oil in sewage water, which unlike drinking water contains many different organic compounds? The project has tested partly fluorescence sensors and partly an electrochemical sensor, an impedance sensor. It turned out that both sensor technologies can detect oil in sewage water, but that they differ in the case of bio-based RME-oil (canola methyl ester). |
| SÖKORD              | Sensorer, olja, oljespill, avloppsledningsnät, avloppsvatten, spillvatten, onlinemätning, digitalisering                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| KEYWORDS            | Sensors, petroleum, oil-spill, sewage network, sewage water, wastewater, on-line measurement, digitalization                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| MÅLGRUPPER          | Avloppsreningsverk, VA-ledningsnätansvariga, dagvattenansvariga                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| RAPPORT             | Finns att hämta hem som pdf från Vattenbokhandeln. <a href="https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/">https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/</a>                                                                                                                                                                                                                                                            |
| UTGIVNINGÅR         | 2024                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| UTGIVARE            | ©Svenskt Vatten AB                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| REFERENS            | Fogel K., Petermann I., Krozer A. och Kusoffsky E. (2024). Sensorsystem för detektion av olja i avloppsvatten. SVU-rapport 2024-4. Stockholm: Svenskt Vatten.                                                                                                                                                                                                                                                     |

Om projektet

|                         |                                                    |
|-------------------------|----------------------------------------------------|
| PROJEKTNUMMER           | 21-114                                             |
| PROJEKTETS NAMN         | Sensorsystem för detektion av olja i avloppsvatten |
| PROJEKTETS FINANSIERING | Svenskt Vatten Utveckling, projektparterna         |

---

# Förord

Denna rapport sammanfattar arbetet i projektet ”Sensorsystem för detektion av olja i avloppsvatten”. Upprinnelsen till projektet var att både Borås Energi och Miljö och Tekniska Verken i Kiruna, vid separata tillfällen, kontaktade oss på RISE och efterfrågade ett sensorsystem som kunde larma vid oljespill i avloppsvattnet. De påtalade de kostsamma konsekvenserna av en utslagen biobädd i reningsverket och miljöaspekten med att förorenat vatten kommer till recipienten på grund av att reningsverkets reningsprocesser inte har full kapacitet. Ett larmsystem skulle ge dem möjligheten att ta hand om oljan innan den kom fram till reningsverket.

Projektet har bestått av en marknadsanalys av kommersiella olja-i-vatten-sensorer, kunskapsinhämtning om relevanta oljor att testa med, anpassning av hårdvarudesignen för tre olika sensorer, samt konstruktion av en flytande plattform för dessa. Experiment har utförts först i labb och sedan i en testbädd för avloppsvattenhantering. Avslutningsvis har fälttester av sensorerna gjorts i två olika pumpstationer för att utvärdera deras funktion i verklig miljö.

Projektgruppen bestod av behovsägarna Tekniska Verken i Kiruna och Borås Energi och Miljö samt forskningsinstitutet RISE. Behovsägarna har bidragit både med expertkunskap rörande problemställning och avloppsvatten, och dessutom med pumpstationer där sensorerna kunde utvärderas under verkliga förhållanden. RISE har utfört anpassning av sensorerna, sensortester och utvärdering av mätresultaten.

Utöver Svenskt Vatten Utveckling har projektet finansierats av Tekniska Verken i Kiruna, Borås Energi och Miljö samt RISE.

Resultaten från projektet presenterades muntligt på NORDIWA-konferensen i Göteborg 5–7 september 2023.

Författarna



---

# Innehåll

|                                                       |           |
|-------------------------------------------------------|-----------|
| Förord.....                                           | 2         |
| Sammanfattning.....                                   | 4         |
| Summary .....                                         | 5         |
| Förkortningar.....                                    | 6         |
| <b>1 Introduktion .....</b>                           | <b>7</b>  |
| 1.1 Projektets syfte och mål .....                    | 7         |
| 1.2 Avgränsningar.....                                | 7         |
| 1.3 Genomförande.....                                 | 8         |
| <b>2 Problembeskrivning: olja i spillvatten .....</b> | <b>9</b>  |
| 2.1 Konsekvenser och åtgärder i dag .....             | 9         |
| 2.2 Önskat läge.....                                  | 9         |
| 2.3 Kravställning på lämpligt sensorsystem.....       | 10        |
| <b>3 Material och metod.....</b>                      | <b>11</b> |
| 3.1 Urval av oljor .....                              | 11        |
| 3.2 Sensorteknik för detektion av olja .....          | 11        |
| 3.3 Kommersiella detektorer .....                     | 14        |
| 3.4 Sensorplattform – design och konstruktion .....   | 15        |
| 3.5 Experimentplatser .....                           | 16        |
| <b>4 Resultat och diskussion .....</b>                | <b>19</b> |
| 4.1 Labbtester .....                                  | 19        |
| 4.2 Mätningar i testbädd .....                        | 24        |
| 4.3 Fälttester i Borås .....                          | 33        |
| 4.4 Fälttester i Kiruna .....                         | 36        |
| <b>5 Slutsatser och nästa steg .....</b>              | <b>40</b> |

---

# Sammanfattning

**Finns det någon sensorteknik som kan detektera olja i spillvatten, som till skillnad från dricksvatten innehåller många olika organiska föreningar? Projektet har testat dels fluorescenssensorer, dels en elektrokemisk sensor, en impedanssensor. Det visade sig att båda sensorteknikerna kan detektera olja i spillvatten, men att de skiljer sig när det gäller biobaserad RME-olja (rapsmetylester).**

Hydraulolja, smörjolja, motorolja, dieselolja och andra likande produkter hör inte hemma i spillvattenledningarna, men tyvärr hamnar de där ändå. Sådana oljespill orsakar stora problem när de når reningsverkens biobädd. Där dödar de mikroorganismerna och slår ut det reningssteg som biobädden utgör. Det tar väldigt lång tid för mikroorganismerna att växa tillbaka till full kapacitet igen och under tiden kan reningsverket inte upprätthålla fullgod rening av spillvattnet.

För att kunna hantera oljespill innan de kommer in och förstör biobädden efterfrågas sensorer för att kunna få larm från pumpstationer och därmed kunna stänga av pumparna och avlägsna oljan från ledningsnätet. Det finns flera sensorer som är utvecklade för att detektera petroleumprodukter i dricksvatten där det finns krav och gränsvärden. Frågan som det här projektet ville få besvarad var om någon sensorteknik kan detektera olja i spillvatten. Till skillnad mot dricksvatten innehåller spillvatten mycket annat än vatten, bland annat mycket organiskt material.

De sensorer som finns att köpa för att detektera olja i vatten är baserade på fluorescens eftersom petroleumbaserade oljor fluorescerar när man lyser på dem, men det gör även mycket annat organiskt material. Med det i åtanke testades en elektrokemisk sensorteknik – en av RISE utvecklad impedanssensor – som känner av förändringar i vätskors elektrokemiska och fysikaliska egenskaper och därmed inte förlitar sig på oljornas förmåga att fluorescera. Dessutom testades en kommersiell sensor och en RISE-utvecklad fluorescenssensor i projektet.

Sensorteknikerna testades både på labb, med spillvatten och utvalda oljor var för sig, och i spillvattentestbädden som RISE har i Bältinge utanför Uppsala. I testbädden skedde mätningar med sensorerna i ett slutet system i form av en IBC-tank (1 000 liter plasttank) där spillvatten med olika utspädning och en oljeblandning tillsattes i olika koncentrationer. Sensorerna monterades på en flytande plattform som kunde anpassa sig till den varierande vattennivån som är aktuell i pumpstationer så att mätningar kunde ske vid vattenytan där oljespill ansamlas. Slutligen testades sensorerna i en pumpstation i Borås och därefter i en pumpstation i Kiruna.

Resultaten visar att båda sensorteknikerna kan detektera olja i spillvatten, men fluorescenssensorn hade svårt att detektera biobaserad RME-olja (rapsmetylester). Impedanssensorn är känslig för variationer i spillvattnets karaktär, men hade samtidigt inga problem med att detektera RME-olja. Båda teknikerna kräver rengöring. Båda sensorteknikerna är värda att vidareutveckla för att kunna implementeras i pumpstationer och i förlängningen även i andra knutpunkter. Valet av sensorteknik som ska vidareutvecklas behöver baseras på vilken typ av spillvatten man vill mäta på och vilken information man vill ha ut av sina mätningar.

---

# Summary

Is there any sensor technology that can detect oil in sewage water, which unlike drinking water contains many different organic compounds? The project has tested partly fluorescence sensors and partly an electrochemical sensor, an impedance sensor. It turned out that both sensor technologies can detect oil in sewage water, but that they differ in the case of bio-based RME-oil (canola methyl ester).

Hydraulic oil, lubricants/greaser, motor oil, diesel oil and other similar products do not belong in the sewage system, but unfortunately, they still end up there. These kinds of oil spills cause big problems when they reach the biobed of the wastewater treatment plant (WWTP). There the oils kill the microorganisms and knocks out the cleaning step that the biobed constitutes. It takes a very long time for the microorganisms to grow back to full capacity again and meanwhile the WWTP can't maintain satisfactory cleaning of the sewage water.

To be able to deal with an oil spill before it reaches the WWTP and destroys the biobed, sensors are requested in order to receive alarms from pump stations and thus able to shut down the pumps and remove the oil from the sewage system. There are several sensors developed for detection of petroleum products in drinking water due to regulatory demands and limits. The question this project aimed to answer was if any sensor technique can detect oil in sewage water. Unlike drinking water, sewage water contains much more than just water, including much organic material.

The sensors commercially available for detecting oil in water are usually based on fluorescence since petroleum-based oils are fluorescent when exposed to light, but this is also true for many other organic compounds. With that in mind we tested a sensor based on electrochemistry – a RISE developed impedance sensor – that detects changes in fluids' electrochemical and physical properties and thereby do not rely on the oils ability to fluoresce. Moreover, a commercial sensor and a RISE developed fluorescent sensor was tested in the project.

The sensor techniques were tested both in the lab, on sewage water and individual oils, and in the sewage water testbed that RISE has in Bälinge outside Uppsala. In the testbed the measurements with the sensors were done in a closed system in a so-called IBC-tank (1,000-liter plastic tank) where sewage water in different dilutions and an oil mix was added in different concentrations. The sensors were mounted on a floating platform that could adapt to the varying water level, which is the deal in pumpstations, so that the measurements could take place near the water surface where the oil accumulates. Lastly the sensors were tested in one pumpstation in Borås and thereafter in one pumpstation in Kiruna.

The results show that both sensor techniques can detect oil in sewage water, but the fluorescent sensor had difficulties detecting biobased RME-oil (canola methyl ester). The impedance sensor is sensitive to variations in characteristic of the sewage waters but had no problem with detecting RME-oil. Both techniques demand cleaning. Both sensor techniques are worth to develop further to be able to implement in pumpstations and in the extension also in other nodes. The choice of sensor to further develop depends on what kind of sewage water you want to measure on and what information you want from the measurements.

---

## Förkortningar

|            |                                         |
|------------|-----------------------------------------|
| CAD .....  | Computer-Aided Design                   |
| BOD7 ..... | Biochemical oxygen demand (7 dagar)     |
| EIS.....   | Elektrokemisk impedansspektroskopi      |
| HVO .....  | Hydrerad vegetabilisk olja              |
| IBC .....  | Intermediate Bulk Container             |
| PAO .....  | Polyalfaolefin                          |
| rpm .....  | Revolutions per minute (varv per minut) |
| RME.....   | Rapsmetyler                             |
| UVF .....  | Ultraviolett fluorescens                |
| WWTP.....  | Wastewater treatment plant              |

---

# 1 Introduktion

Även om motorolja, eldningsolja eller dylikt inte ska vara i spillvattnet, händer det tyvärr ibland ändå att sådan olja hamnar där. Det kan till exempel bero på dåligt underhåll av oljeavskiljare eller olyckor. När ett oljespill hamnar i spillvattnet orsakar det skada på biosteget i reningsverket genom att döda mikroorganismerna. Beroende på spilllets omfattning tar det flera veckor upp till månader för mikroorganismerna att växa tillbaka till full kapacitet. Under den tiden kan inte reningsverken upprätthålla fullgod rening av spillvattnet och riskerar därmed att släppa ut vatten som inte klarar uppställda villkor på rening av BOD7 och kväve.

I dag kommer oljan helt utan förvarning rakt in i reningsverket. Med ett tidigt varningssystem i form av larm från en sensor om olja är i ledningsnätet så kan pumparna stoppas i den pumpstation där olja detekteras. Därefter kan oljan sugas upp och skickas till miljösäker avfallshantering. Ett annat alternativ är att man vid larm aktivt väljer att brädda spillvattnet före reningsverket för att skydda biosteget. Med en rutin som är förankrad hos miljöförvaltningen kring vilka skeenden som skulle generera en sådan vald bräddning, samt med länsar att lägga i mottagande vattendrag, hade det gett ökad säkerhet vid reningsverket och minskad miljöpåverkan i förlängningen.

Vidare skulle man även vilja veta var oljespilllet kom ifrån, och med flera sensorer i ledningsnätet skulle man få ett bättre utgångsläge för uppströmsarbetet och därmed kunna rikta insatser till områden där sensorerna indikerar att man har problem med olja i ledningsnätet. Alternativt skulle ett portabelt sensorsystem kunna användas för uppströmsutredningar.

Oljespill är även ett problem i dagvattensystemet, då oljespill ibland kommer från urbana hårdgjorda ytor ner i dagvattensystemet och vidare ut i naturen. En sensor som klarar miljön i spillvattensystemet skulle sannolikt även klara oljedetektion i dagvatten då utmaningarna för sensorerna är störst i spillvatten. Oljeläckage till stora sjöar via dagvattnet kan även riskera att förorena dricksvattentäkter.

## 1.1 Projektets syfte och mål

Det här projektet syftar till att studera om tekniker, som tidigare visat sig eller påstås kunna detektera olja i vatten, även lyckas känna av oljespill i kommunalt spillvatten. Projektet syftar också till att utvärdera de olika sensorteknikernas fördelar och nackdelar för mätningar i spillvatten och hur en sådan sensor behöver designas och optimeras för att kunna installeras i pumpstationer och larma om det kommer oljespill.

## 1.2 Avgränsningar

Projektet har fokuserat på att utreda om sensorerna lyckas känna av olja i spillvatten, trots närvaro av övrigt innehåll i spillvattnet. Spillvatten som fanns på respektive ort (Uppsala/Bälinge, Borås och Kiruna) har använts i projektet, och mätdata har utvärderats utifrån stabilitet i mätningar och eventuella svagheter hos sensorteknikerna.

Val av oljor att testa har gjorts med utgångspunkt från de problem som reningsverken inom projektet haft och har, vilket till stor del var oljor från industrier, så som exempelvis hydrauloljor, men inte livsmedelsfetter. Dock påtalades utmaningen med att många biobaserade produkter kommit in på marknaden, så exempel på dessa ansågs viktigt att få med i projektet.

---

Det ingick inte i projektet att göra någon optimering av sensorerna för olika typer av spillvatten. Utveckling av automatisk rengöring för sensorerna ingick inte heller i projektet, eller annan optimering av hårdvarudesignen förutom nödvändig anpassning för att kunna genomföra mätningarna. Däremot ingick en utvärdering av rengöringsbehovets omfattning. Projektet har inte heller studerat olja i dagvatten, men då dagvatten inte är lika komplext som spillvatten bör ett sensorsystem som klarar av att detektera olja i spillvatten även kunna appliceras på dagvattensystem i samma syfte.

### 1.3 Genomförande

En marknadsanalys av tillgängliga sensorer för detektion av olja i vatten samt kunskapsinhämtning om relevanta oljor och lösningsmedel gjordes i början av projektet. Arbetet bestod både av litteraturstudier och diskussioner med behovsägarna som deltog i projektet.

Huvuddelen av projektet utgjordes av anpassning, utvärdering och jämförelse av två olika egenutvecklade sensorer baserade på olika tekniker samt en inköpt kommersiell lösning.

Test och utvärdering av dessa sensorer utfördes i tre steg:

- 1) Sensorerna testades först i labbmiljö för att utvärdera deras funktion under kontrollerade förhållanden. I det här steget användes relevanta oljor och lösningsmedel i olika koncentrationer utspädda i typiskt spillvatten. Huvudsyftet med det här steget var att verifiera att teknikerna kan detektera relevanta oljor under optimala förhållanden.
- 2) För att studera sensorernas känslighet och selektivitet under mer realistiska förhållanden testades de sedan i den testbädd som RISE har i Bältinge norr om Uppsala. Denna anläggning har tillgång till kommunalt grå- och svartvatten och man kan under ordnade förhållanden tillsätta olja och lösningsmedel utan att störa några reningsprocesser. Vattnet med inblandade prov kunde därefter avyttras på ett säkert och miljövänligt sätt. Förutom att utvärdera sensorerna under mer fältlika förhållanden syftade dessa tester till att verifiera mätutrustningens hållbarhet och tillförlitlighet utanför en optimal labbmiljö och daglig översyn. Testerna pågick under cirka 2 månader.
- 3) I sista steget testades sensorerna på plats i pumpstationer både i Borås och Kiruna. Detta för att utvärdera hur de klarade av förutsättningarna i pumpstationerna. Både pumpstationernas storlek och spillvattnets komposition skilde sig mellan Borås och Kiruna. Pumpstationen i Kiruna var mycket mindre och spillvattnet utgjordes till stor del av industrispillvatten jämfört med Borås där det var ett "vanligt" kommunalt spillvatten i en större pumpstation. Testerna pågick i cirka 3 månader i varje pumpstation.

---

## 2 Problembeskrivning: olja i spillvatten

Petroleumolja är giftigt för levande organismer, växter och djur, vilket innebär att det även är giftigt för mikroorganismerna i biobädden i reningsverkens reningsprocess. Ett oljeutsläpp som når reningsverket kan således leda till betydande miljöpåverkan eftersom ett utsläpp kan innebära att den aktuella oljan når recipienten, men även att den biologiska reningen slås ut under lång tid och att recipienten dessutom tillförs stora mängder BOD7 och kväve. För reningsverket och VA-organisationen kan detta också få stora juridiska konsekvenser om villkoren i miljötillståndet inte kan uppnås.

### 2.1 Konsekvenser och åtgärder i dag

Med en del av eller hela biobädden utslagen lyckas den inte rena spillvatten så som den ska göra. Detta påverkar hela reningsprocessen och resulterar i att reningsverket har svårt att leva upp till villkoren gällande rening av BOD7 och kväve. Hur försämrad reningen blir beror självklart på hur stort oljespillet är i förhållande till storleken på biobädden. Omfattningen av skadan påverkar även hur lång tid det tar innan biobädden återhämtat sig, då det bara är att vänta tills mikroorganismerna växt tillbaka till full kapacitet igen. I värsta fall kan man behöva sanera och ympa in nytt slam från en fungerande aktiv biobädd från ett annat reningsverk.

För att kompensera för den utslagna biobädden används mer fällningskemikalier i reningsprocessen vilket ökar kostnaderna och miljöpåverkan för avloppsvattenreningen. Den procentuella ökningen beror på när på året spillet har skett, men uppskattningsvis 10–20 % mer kemikalier behövs då biobädden är utslagen. Trots ökad kemikalieanvändning blir inte spillvattnet så rent som det brukar bli, vilket innebär att recipienterna får ta emot ett mer förorenat vatten och miljön påverkas negativt.

### 2.2 Önskat läge

Det reningsverken önskar sig är ett larm om att det kommer ett oljespill, för att kunna hantera det innan det kommer till reningsverket och riskerar att slå ut biosteget. Om reningsverket får ett larm kan man stänga pumparna, manuellt eller automatisk om sensorsystemet är kopplat till styrningen av pumparna, och därefter kan oljan sugas upp med slambil. Vidare önskar VA-organisationerna en möjlighet att spåra uppströms varifrån oljespillet kom för att kunna åtgärda ursprungsproblemet som till exempel kan vara en dåligt fungerande oljeavskiljare hos en industri. Denna uppströmsspårning skulle kunna göras via fler sensorer utmed avloppsnätet eller genom att man har ett portabelt instrument.

I ett tidigare projekt på Uppsala Vatten användes tennisbollar hängande i snören i avloppsbrunnar för att på så vis spåra oljespill i spillvattennätet uppströms i två utsläppsdrabbade industriområden. Metoden gav tydliga resultat i form av oljekladdiga tennisbollar i påverkade avloppsbrunnar. Det ledde till att man kunde hitta källan för oljespillet i det ena området som hade goda förutsättningar med servicebrunnar vid varje fastighet. Metoden är billig, men den kräver regelbundna inspektioner då den saknar larm och är helt manuell. Det gör att personalen utsätts för väldigt nära kontakt med spillvatten och dessa petroleumprodukter. Sensorer som kan ge samma information, men med larm och utan personkontakt, är därför önskvärda.

---

## 2.3 Kravställning på lämpligt sensorsystem

Först och främst måste ett lämpligt sensorsystem kunna detektera olja i spillvatten trots dess komplexa innehåll. Vidare gör det faktum att oljespillet kan komma från industri-ers spolhallar att sensorsystemet behöver kunna känna av oljan även under närvaro av lösningsmedel/avfettningsmedel. Dessutom behöver underhållsbehovet vara lågt så att sensorsystemet klarar sig utan manuellt underhåll i veckor, gärna månader. Systemet behöver vara tåligt för att klara av den fysiska miljön i pumpstationer och det måste kunna skicka data från pumpstationen. Det ska även kunna kopplas till ett larmsystem som kan stoppa pumparna, om så önskas, så att det kontaminerade spillvattnet inte skickas vidare från pumpstationen.



---

## 3 Material och metod

### 3.1 Urval av oljor

Det är svårt att förutse exakt vilka oljor som kan komma på tal för ett eventuellt utsläpp, men däremot är det troligt att det rör sig om vissa typer av oljor: biodiesellojor (både ester- och PAO-baserade), fossila motoroljor/hydrauloljor och miljövänliga motoroljor/hydrauloljor. Även avfettningsmedel är av intresse, vilket visserligen inte är en olja i sig men skulle kunna dölja förekomsten av oljor.

Efter en genomgång av tillgänglig litteratur och diskussioner med behovsägarna valdes följande som representanter för de olika oljetyperna samt avfettningsmedel som är intressanta i sammanhanget:

- B100 Verdis (esterbaserad RME-olja, Circle K Truck)
- Neste My (PAO-baserad HVO100-olja, OKQ8)
- Mineralmotorolja 10W-30 (Biltema, artikelnummer 36-968)
- Helsyntetisk motorolja 5W-30 (Biltema, artikelnummer 36-927)
- Kallavfettningsmedel (Biltema, artikelnummer 36-1010)

För labbexperimenten användes av praktiska skäl andra RME- och HVO-oljor från än ovanstående, mensammamotoroljor och avfettningsmedel. Detta bedömdes inte ha någon inverkan på slutsatserna. Alla produkter i listan användes vid testbäddsexperimenten.

Oljan tillfördes alltid som blandning med lika delar av alla oljor som ingick i studien för att minska antalet parametrar att variera. Detta bedömdes inte minska värdet av analysen eftersom oljorna kan förväntas förekomma i blandning även vid utsläpp i avloppssystemet.

### 3.2 Sensorteknik för detektion av olja

För att detektera olja i andra lösningar utgår man ofta från att känna av det som är typiskt för olja gentemot den matris den befinner sig i. Petroleumbaserade oljor fluorescerar då de belyses med ultraviolett ljus. Det är därför vanligt att sensorer som ska detektera petroleumoljor är baserade på fluorescenssensorteknik. En utmaning med att använda den tekniken är att även andra ämnen i naturen kan fluorescera under samma förhållanden, och spillvatten innehåller mycket annat organiskt material som kan störa sensorn, antingen genom interferens eller genom att absorbera UV-strålarna.

En annan intressant sensorteknik är impedansspektrometri, vilken är baserad på elektrokemi där man utnyttjar att olika ämnen uppvisar olika impedans som funktion av elektrisk frekvens. Denna teknik är inte känslig för optisk fluorescens utan beror i stället bland annat på mängden och typen av elektrolyter i vätskan.

Båda dessa sensortekniker ingick i projektet och beskrivs nedan i större detalj.

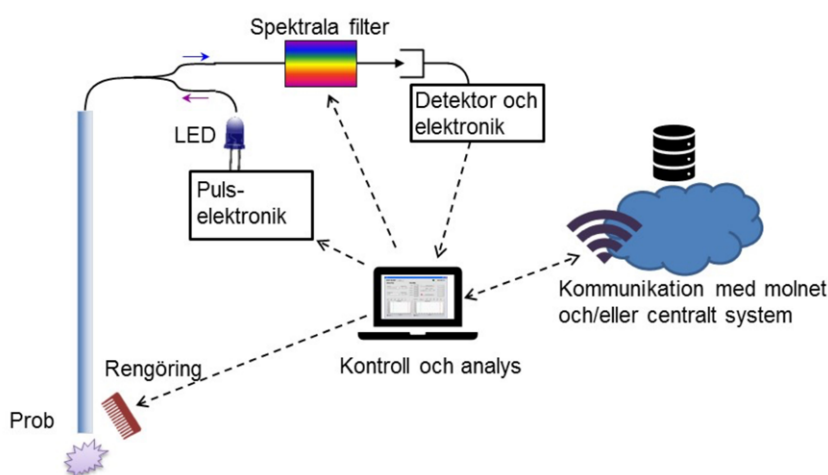
#### 3.2.1 UV-fluorescens

Ultraviolett fluorescens (UVF) är en väl etablerad teknik för mätning av organiska ämnen, däribland olja. Tekniken baseras på att substanser som belyses med UV-strålning först absorberar ljuset (exciteras), och sedan avger ljus (fluorescerar) som kan detekteras. Fluorescensen är skiftad mot längre våglängder än det infallande ljuset. Detta gör det lättare att särskilja ljus från ljuskällan från fluorescensen som man mäter.

Genom att använda olika exciterande våglängder och detektera olika delar av det genererade fluorescensspektrumet kan man särskilja responsen från olika ämnen och

optimera resultatet givet vad man vill detektera och hur bakgrundssignalen ser ut. Ofta är det lämpligt att åtminstone detektera några olika fluorescensvåglängder för att minimera risken för felarm orsakade av oväntade fluorescensförändringar i bakgrundssignalen.

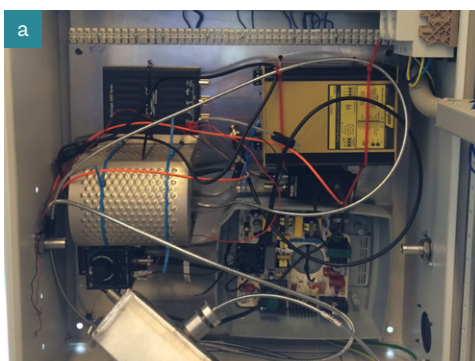
En grundimplementation av tekniken kan se ut som i Figur 3.1. Ljuset från en ultraviolett ljuskälla (exempelvis en UV-diod) leds genom en ljusledarprob till provet. Fluorescent ljus fångas sedan upp av samma prob som leder detta förbi ett fast eller justerbart filter till en känslig detektor. Om nödvändigt lägger man även till en automatisk rengöring av probhuvudet för att förhindra uppbyggnad av biofilmer, alger eller skräp som kan hindra detektionen av det emitterade ljuset. Allt styrs från en dator som även samlar in mätdata och skickar dessa vidare till ett centralt styrsystem, en databas i molnet eller vad som passar tillämpningen bäst.



**Figur 3.1**

Grundprincipen för ett UVF-system.

Inom ramen för projektet använder vi två UVF-baserade system: ett egenutvecklat med en excitansvåglängd på 275 nm och möjlighet att välja en eller flera fluorescensvåglängder mellan 300 nm och 650 nm, och en kommersiell sensor (*KWS-1000 Oil in water sensor*) med en excitansvåglängd på 365 nm (Figur 3.2). Den senare medger ingen speciell möjlighet att variera mätparametrar och har ett specificerat mätområde på 0–50 ppm olja i vatten. Inga av sensorerna är absolutkalibrerade och analysen baseras på relativa förändringar för att detektera förekomsten av olja snarare än exakt koncentration. Genom att testa dessa två system parallellt kan den kommersiella sensorn utvärderas parallellt med den egenutvecklade där vi kan variera parametrarna i högre grad.



**Figur 3.2**

a) Skåp med egenutvecklat UVF-system så som det användes i ett tidigare projekt inom dricksvattenproduktion. b) En kommersiell UVF-baserad sensor som köptes in och testades i projektet.

### 3.2.2 Impedansspektrometri

Beskrivningen nedan fokuserar framför allt på en Elektrokemisk Impedans-Spektroskopi (EIS) såsom den ofta används vid studier av komplexa vätskor. En komplex vätska innehåller en mängd olika tillsatser: olika sorters joner och/eller neutrala partiklar vars storlekar kan sträcka sig från molekyllära avstånd (nanometer) och ända till flertal  $\mu\text{m}$ . Till skillnad mot ett fast material där molekyler/atomer (inklusive eventuella föroreningar) intar särskilda positioner, eller är mycket svårrörliga, så är dessa tillsatser (såväl som vätskemolekyler) fria att röra sig i en vätska. Utsätts en vätska för en elektrisk kraft vilken uppstår under inverkan av ett yttre pålagt (variabelt) elektriskt fält så rör sig partiklarna i vätskan och intar en position där kraften som de utsätts för minimeras. De tenderar alltså att skärma av det elektriska fältet i det inre av vätskan. Partiklarnas hastighet (mobilitet) varierar beroende bland annat på partiklarnas storlek, laddning och/eller polarisation (av det yttre pålagda fältet inducerad laddning), det elektriska fältets amplitud och vätskans viskositet och temperatur.

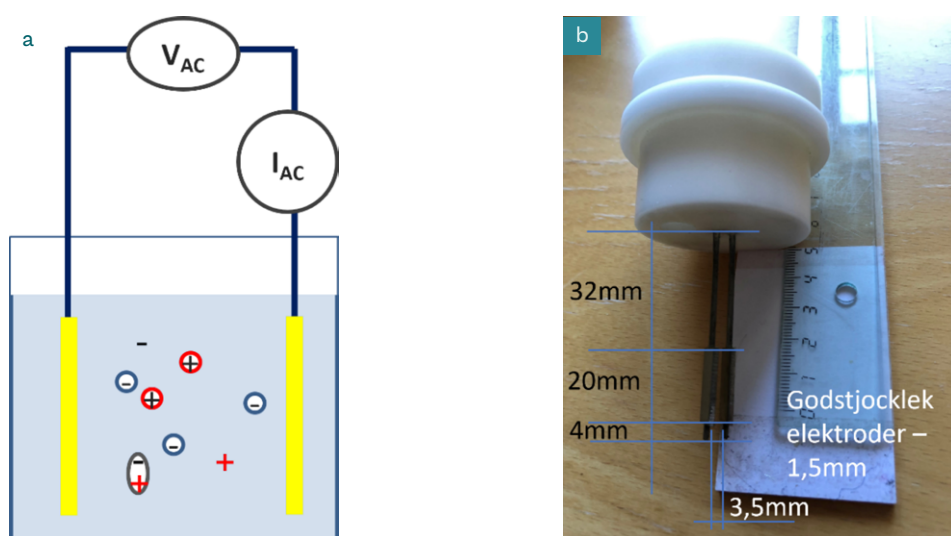
Den elektriska permittiviteten är den fysikaliska storheten som beskriver vätskans respons mot det yttre pålagda elektriska fältet. Permittiviteten är en komplex storhet som varierar som funktion av frekvensen. Den är relaterad till vätskans komplexa elektriska impedans,  $Z$ . Är det pålagda elektriska fältet ett AC-fält, dvs varierar i tiden, så blir även  $Z$  tidsberoende.

Inom EIS utsätter man ofta vätskan mot ett fält vars amplitud varierar periodiskt i tiden: ett sinus-fält, och studerar vätskans inverkan vid olika frekvenser,  $\omega$ . Typiskt är att fältet induceras genom att lägga en variabel sinus-spänning mellan två planparallella elektroder nedsänkta i vätskan (se Figur 3.3). Fördelen med att använda planparallella elektroder är, bland annat, att fältets amplitud i området mellan elektroderna är uniform och riktad vinkelrätt mot elektroderna. För tillräckligt stora elektroder placerade nära varandra är randeffekterna försummande små.

$Z$  är alltså en komplex storhet:

$$\frac{V(\omega)}{I(\omega)} = Z(\omega) = \text{Re}Z(\omega) + i \text{Im}Z(\omega) = |Z(\omega)|\{\cos\theta(\omega) + i \sin\theta(\omega)\}$$

där  $i = \sqrt{-1}$ ,  $\theta(\omega) = \arctg\left(\frac{\text{Im}Z(\omega)}{\text{Re}Z(\omega)}\right)$  är en fasförskjutning som beror på skillnader mellan mobiliteterna hos de olika partiklarna för en given frekvens medan  $|Z(\omega)| = \sqrt{\text{Re}Z^2 + \text{Im}Z^2}$ .



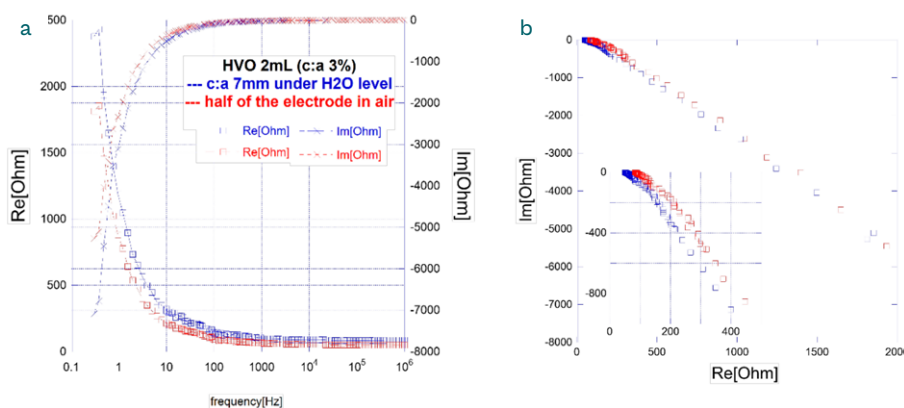
**Figur 3.3**

a) Ett exempel på elektrodkonfiguration.  
b) Utförandet som användes inom den nuvarande studien.

Mätresultat, dvs ReZ- och ImZ-värden vid olika frekvenser brukar visualiseras på endera av två olika sätt: antingen i ett s.k. Bode-diagram eller i ett Nyquist-diagram (se Figur 3.4).

Observera att frekvensen inte förekommer explicit i ett Nyquist-diagram, den finns endast implicit då både ReZ och ImZ varierar med frekvensen. Det är viktigt att komma ihåg när man betraktar data plottade i Nyquist-diagram att ju *mindre* värden på ReZ, respektive ju närmare noll på ImZ, desto *högre* är frekvensen vid vilka dessa värden uppmättes.

Ett ytterligare annat sätt att visa Bode-diagram är att i stället för ReZ respektive ImZ som Y-axlar rita amplituden respektive fasen, dvs. respektive som funktion av frekvensen. I analysen har framförallt Nyquist-diagram och amplitud-/fasdiagram som funktion av tiden för en specifik frekvens använts.



**Figur 3.4**

Exempel på a) ett Bode-diagram och b) ett Nyquist-diagram. Den lilla figuren inuti Nyquist-diagrammet visar en förstoring av X- respektive Y-skalan med ca x5 för att accentuera skillnader.

### 3.3 Kommersiella detektorer

Behovet att mäta olja i vatten förekommer även i andra sammanhang så som i dricks-vattenproduktion och inom tillverkningsindustrins processer. Utmaningen i dricks-vatten är att det är stora krav på hög känslighet hos sensorerna då det är väldigt låga gränsvärden för petroleumprodukter i dricksvatten.

Alla kommersiellt tillgängliga sensorer som hittades i den marknadsundersökning som gjordes inom projektet var baserade på fluorescenssensorteknik. Många av dessa är utvecklade för att vara väldigt känsliga och har sin huvudsakliga tillämpning inom dricksvattenproduktion. Dessa sensorsystem är därmed ofta väldigt dyra och avancerade, med en prislapp på mellan 230 000 kr och 640 000 kr (utan tillbehör).

Då målet med projektet var att hitta teknik som kan implementeras i flera pumpstationer hos varje aktör, ansågs inte dessa avancerade system vara av intresse. Sensortekniken som de är baserade på ingår ändå i projektet då ett av RISE egenutvecklade sensorsystem är baserat på fluorescensmätning. Det fanns dock en kommersiell sensor med denna teknik, *KWS-1000 Oil in water sensor*, som var speciellt avsedd för att detektera just olja i spillvatten och betingade ett pris på runt 25 000 kr. Denna köptes in och testades i projektet. Dels skilde den sig jämfört med den egenutvecklade genom att den använde en annan excitation svåglängd vilket var intressant att jämföra i sig, dels var det intressant att undersöka om en prisvärd kommersiell sensor kunde användas i pumpstationerna. Sensorn mätte även vattentemperaturen, vilken registrerades tillsammans med övriga data i experimenten.

Andra sensorer som sorterades bort och inte kom att utvärderas i projektet krävde bland annat en lugn/stilla vattenyta för att mäta, vilket inte passade in på den kravbild en installation i en pumpstation innebär.

### 3.4 Sensorplattform – design och konstruktion

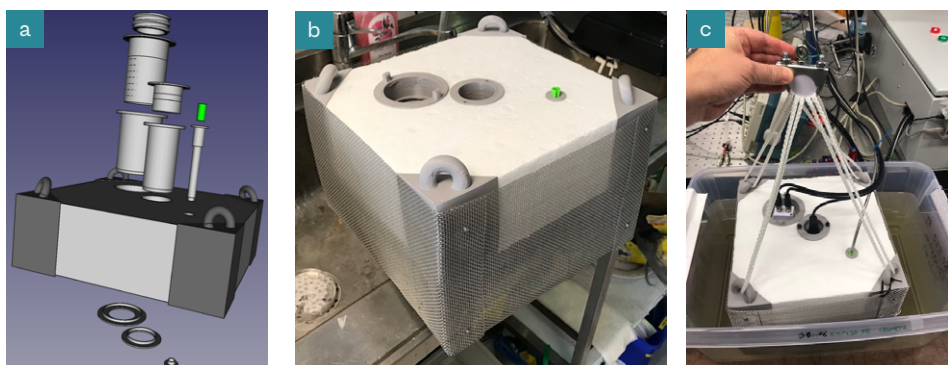
Totalt har tre olika sensorer ingått i projektet: de egenutvecklade baserade på UVF och impedansspektrometri samt en kommersiell sensor baserad på UVF.

En utmaning med att implementera vattenmätningar i pumphus är att vätskenivån hela tiden varierar, från att stiga när pumparna är avstängda för att sedan sjunka när pumparna går. Hur fort och hur ofta förändringar av nivån sker är olika för olika pumphus. Då oljan flyter upp och lägger sig på ytan bör mätningarna ske på eller i vattenytan, men då krävs även att sensorsystemet kan följa med i nivåförändringarna. Fixerade sensorlösningar är därmed inte helt lämpliga. Vidare skapar förändringarna av vattennivå en rörelse i vattnet som sensorn måste kunna acceptera.

Signalen från impedanssensorn beror delvis på nedsänkingsdjupet. Även de UVF-baserade sensorerna bör ge mest stabila mätvärden om de sitter på ungefär samma djup hela tiden med tanke på att det mesta av ett eventuellt oljeutsläpp inte fördelar sig homogent i vattnet utan framför allt samlas i ytskiktet. Som lösning valdes därför en flytplattform med hållare för sensorerna som då hela tiden har ett givet avstånd till vattenytan. Storleken behöver dessutom vara tillräckligt liten för att passa in i det rätt trånga utrymmet för fälttesterna i Kiruna (begränsat till ca 35 cm som smalast).

Plattformens bas utgörs av ett 10 cm tjockt frigolitblock med 30 cm sida. 3D-utskrivna hållare till de olika sensorerna monteras sedan i hål i detta block. Hållarna är konstruerade så att sensorerna sticker ner någon centimeter under vattenytan. Hållaren för impedanssensorn ger dessutom möjlighet att justera nedsänkingsavståndet för att optimera signalen. Hela konstruktionen kan hissas ned till vattenytan via krokar i 3D-utskrivna hörnbeslag och ett metallnät runt botten skyddar mot kringflytande skräp som annars kan fastna i sensorerna och störa mätningarna (se Figur 3.5).

Sensorerna på plattformen förbinds med styr- och analysutrustning i ett plåtskåp med fyra ca 10 meter långa kablar. Utrustningen i skåpet initierar mätningarna, samlar in producerade mätdata och gör detta tillgängligt för utvecklarna via ett 4G-modem. Utrustningen är autonom så tillvida att enbart elförsörjning 220 V behöver anslutas och antennen från modemmet monteras så att det finns mobiltäckning.



**Figur 3.5**

a) CAD-ritning av sensorplattformen, b) foto på plattformen inklusive skyddsnät, c) plattform med monterade sensorer (impedanssensor längst bort, kommersiell sensor i mitten och optikprob för UVF-sensorn närmast kameran).

Beroende på typ av vatten behöver plattformen en renspolning vid jämna mellanrum eftersom skräp och sediment kan fastna på skyddsnätet över tid och hindra vattentillförseln för sensorerna.



## 3.5 Experimentplatser

### 3.5.1 Labb

Labbexperimentens primära syfte var att utreda om de olika sensorteknikerna kunde detektera relevanta oljor under optimala och kontrollerande förhållanden, både i ren form och utspädda i typiskt spillvatten som hämtades från testbädden i Bältinge. Experimenten utfördes i små behållare som möjliggjorde enkel och exakt dosering av de olika vätskorna. Fokus låg på att verifiera den grundläggande funktionen och att bilda sig en uppfattning om storleksordningen på mätbara oljekoncentrationer. Figur 3.6 visar labbuppställningarna för de egenutvecklade sensorerna. Den kommersiella sensorn anlände från leverantören i ett sent stadium och testades inte separat i labbet.

För UVF-sensorn användes en porslinskopp som inte gav någon märkbar egen fluorescens. Denna fylldes sedan med provvätskorna varpå fluorescensproben sänktes ned i vätskan. En magnetisk omrörare inställd på 500 rpm (varv per minut) utgjorde ett försök att hålla vätskorna blandade. Till att börja med mättes responsen över en större del av spektrum för de rena ämnena, sedan vid ett urval våglängder där provvätskorna blandats i olika koncentrationer i spillvatten.



**Figur 3.6**

Labbuppställningar för  
a) UV-fluorescens och  
b) impedansspektrometri.

För impedanssensorn användes en förslutningsbar glasburk med genomföring för mät-elektrodena. Omrörning gjordes via magnetomrörare utan att en vak uppstod. För att se i vilken utsträckning oljan ansamlades på ytan och för att utreda på vilken nivå från vattenytan elektroderna borde sitta för optimal avkänning av olja, utan att riskera att elektroderna hamnade i luften, togs vätska ut från behållaren så att vattennivån sakta sjönk till en lämplig nivå. Impedansen i luft är högre än i vatten, så elektroderna bör vara helt nedsänkta i vattnet. För varje mätpunkt mättes impedansen för frekvenserna 1 Hz, 10 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz och 1 MHz.

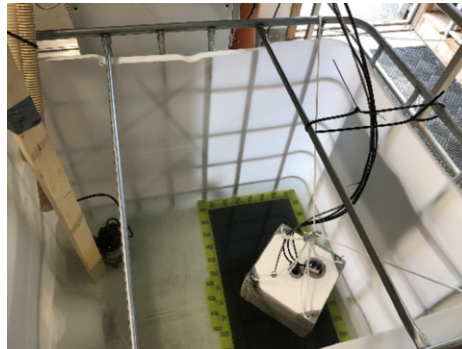
### 3.5.2 Testbädd

Försöken i testbädden pågick i 2 månader och syftade primärt till att undersöka sensorteknikernas funktion under mer fältlika förhållanden och samtidigt kunna tillsätta olja och avfettningssväska i kända volymer.

Figur 3.7 visar experimentuppställningen som användes. En enkubikstank av IBC-typ

ställdes upp med tillgång till dricks-, spill- och svartvatten. En sänkbar omrörningspump med programmerbar start och stopp placerades i botten för att ge cirkulation och någon form av blandning i vattnet. Bland annat kördes denna omrörning i samband med varje tillsats av provvätskorna. Olja och avfettningsmedel tillfördes i precisa volymer i hörnet med omrörningspumpen för att ge maximal inblandning.

Sensorplattformen sänktes ner i tanken så att alla sensorer kunde mäta samtidigt på samma vatten.



**Figur 3.7**

Försökupställningen i Bältinge bestående av en IBC-tank som fylldes på med färsk- och spillvatten samt oljor och avfettningsmedel i kända kvantiteter.

En separat suspensionsmätare sänktes även ner i tanken, men dess data har inte behövt användas i analysen i någon större utsträckning. All mätutrustning var samlad i ett plåtskåp från vilket kablar till den flytande mätplattformen utgick. En bit sammet klistrades på botten av plastkärlet under plattformen för att minimera fluorescens från plastmaterialet.

### 3.5.3 Fälttester

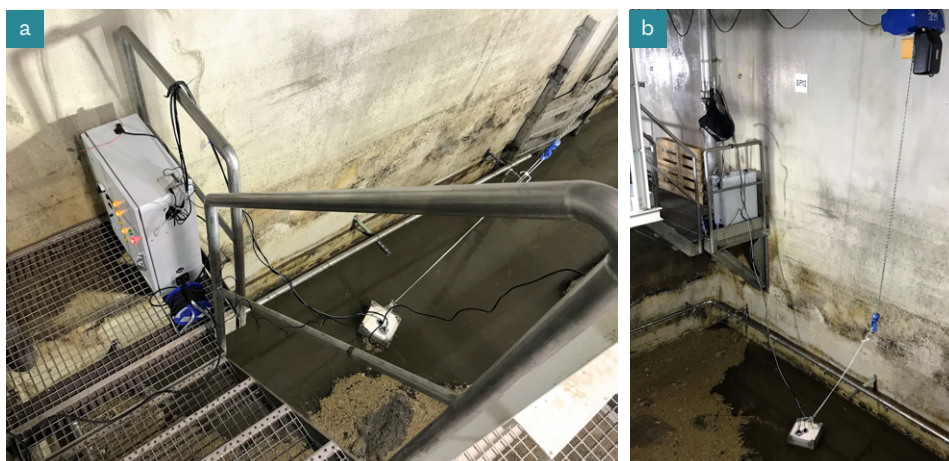
Fälttesternas primära syfte var att undersöka hur sensorteknikerna klarade av riktiga fältförhållanden under en längre tid och se om det fanns några oförutsedda störfaktorer som riskerar att försvåra analysen av data. De båda testplatserna utgjorde även exempel på vitt skilda vattentyper vilket gav viktig kunskap om teknikernas för- och nackdelar under olika förutsättningar. Testerna pågick i 3 månader på varje testplats.

#### Gässlösa – Borås

Vattnet som passerar Gässlösa består till relativt stor del av spillvatten från bostadshus och mindre av industrispillvatten, så resultatet är ett spillvatten med rätt högt innehåll av organiskt material. Detta utgör en svårare mätsituation för fluorescenssensorerna jämfört med industriellt vatten eftersom bakgrundssignalerna kan förväntas vara höga, samtidigt som risken är större att fast kringflytande material fastnar och stör alla sensorernas funktion. Vattnet är med all sannolikhet tjockare än det spillvatten som användes i Bältinge.

Utrustningen användes med i stort sett samma konfiguration som i testbädden, enda skillnaden var att delar av elektronikhardvaran till impedanssensorn byttes ut för en stabilare funktion. Pumpstationen har en förhållandevis stor bassäng några meter ner från elektronikskåpets placering.

Vattennivån reglerades mellan lämpliga börvärden och mätplattformen kunde lätt hissas upp för rengöring med jämna mellanrum (ca en gång i veckan) med hjälp av en traverskran (Figur 3.8).



**Figur 3.8**

Experimentuppställningens placering i Gässlösa pumphus.

### Industriområdets pumphus – Kiruna

Spillvattnet i industriområdets pumpstation i Kiruna består framför allt av industrispillvatten och har betydligt mindre inblandning av svartvatten än de övriga vatten som förekommit i experimenten (se Figur 3.9).

Inför mätperioden i Kiruna gjordes en ny mätplattform med något förbättrade hållare, framför allt för att plattformen blivit rätt igengrodd och impedanssensorns kontakter rostade efter flera månader i pumpstationen i Borås. Grunddesignen var dock precis likadan som förut och resultaten fullt jämförbara med tidigare mätningar. Figur 3.9 visar installationen av utrustningen i pumpstationen, som är betydligt mindre än den i Borås. Även här hissas plattformen upp med en kran och spolas av regelbundet, ungefär en gång i veckan.

Inför installationen av systemet i Kiruna gjordes de elektriska anslutningarna om mellan impedanssensorn och avläsningsenheten för att hindra fukt- och vattenpenetration till elektroder och lödställen samt bidra till bättre mekanisk robusthet. Förändringarna bedömdes inte göra någon nämnvärd skillnad för mätresultaten i övrigt så att jämförelser mellan testplatserna fortfarande kunde göras.



**Figur 3.9**

Experimentuppställningens placering i industriområdets pumphus i Kiruna.



## 4 Resultat och diskussion

### 4.1 Labbtester

#### 4.1.1 UV-fluorescens

##### Resultat och diskussion

Fluorescensresponsen för de enskilda oljorna och avfettningsmedlet i ren form visas i Figur 4.1 för excitation med ljusvåglängden 275 nm. Till att börja med kan konstateras att spillvattenprovet från Bältinge ändrade karaktär efter att ha legat några veckor, trots att det förvarades i slutna flaskor i kylskåp. Förändringen innebar en mer avtrubbad respons som spred ut sig jämnare över spektrum och kan troligen förklaras med att vissa ämnen bryts ned över tid. Denna observation betyder dock inte så mycket för tillämpningen eftersom vattnet i en riktig mätsituation är "färskt". För analysen bör vi dock koncentrera oss på responsen i färskt tillstånd (violett prickig kurva i Figur 4.1 a och b).

Det är värt att notera att signalen från RME-oljan ligger en till flera tiopotenser lägre än för de övriga proven och dessutom överlappar till stor del med bakgrundssignalen, så det är osannolikt att den typen av olja ska gå att urskilja från en bakgrund som utgörs av spillvatten, speciellt om vattnet har hög andel av svartvatten som står för merparten av fluorescensen.

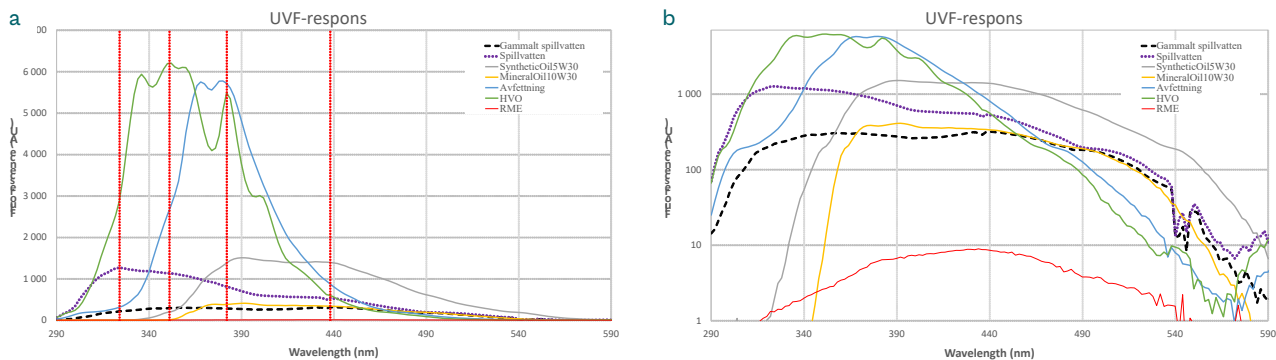
Utifrån de spektrala resultaten valdes emissionsvåglängder att bevakas för resten av experimenten i projektet (se även Figur 4.1 a):

- Kanal 1, 324 nm: maximum för det färska spillvattnet
- Kanal 2, 351 nm: maximum för HVO
- Kanal 3, 382 nm: ytterligare en topp för HVO samt nära maximum för avfettningsmedlet. Här hamnar även toppen på en kurva som utgör summan av alla oljor, och responsen vid denna våglängd bör därför bli stor när vi tillsätter en oljeblandning.
- Kanal 4, 438 nm: relativt hög signal från syntetisk olja, mineralolja och RME, relativt låg signal från övriga prov

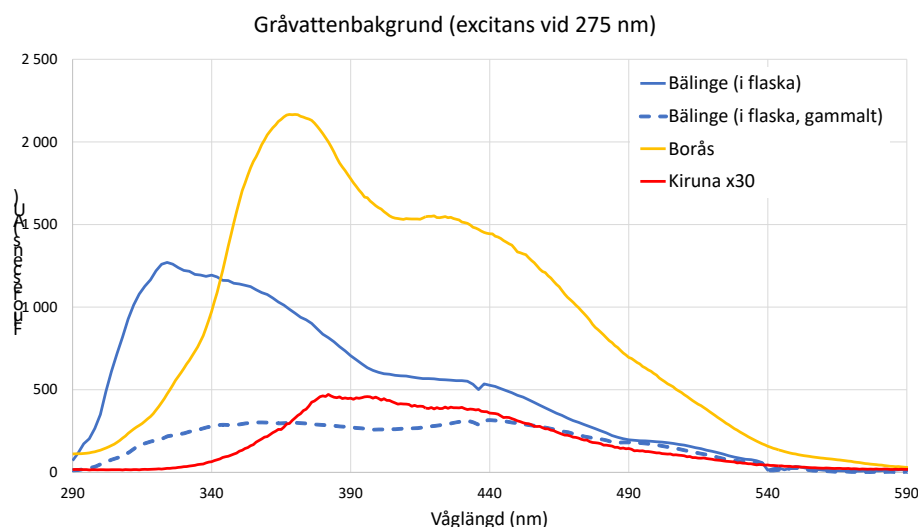
Genom att jämföra responsen vid de olika våglängderna kan man få en indikation om vad vattnet innehåller. Kurvorna överlappar dock en hel del, vilket gör det svårare att få fram mer exakta koncentrationvärden på de olika konstituenterna. Eftersom målet för projektet snarare var att detektera "en stor mängd" olja som passerar sensorn än att få fram detaljinformation om vattnets beskaffenhet och precisa oljekoncentrationer så är detta faktum av mindre betydelse i sammanhanget. För mätningar på oljorna utblandade i spillvatten användes en oljeblandning bestående av lika delar RME-, HVO-, mineral- och syntetolja.

**Figur 4.1**

Fluorescensrespons vid 275 nm excitation för oljor och avfettningsmedel i ren form med a) linjär och b) logaritmisk skala. De röda vertikala linjerna i a) visar de emissionsvåglängder som bevakas i den egenutvecklade fluorescensmätutrustningen.



Figur 4.2 visar uppmätt bakgrundssignal för de olika experimentplatserna. Man kan här se att vattnet i Gässlösa som väntat ger störst störsignal, vilken är ungefär dubbelt så stor i relevanta delar av spektrum jämfört med vattnet från Bälinge, och flera storleksordningar större än vattnet i pumpstationen i Kiruna.



**Figur 4.2**

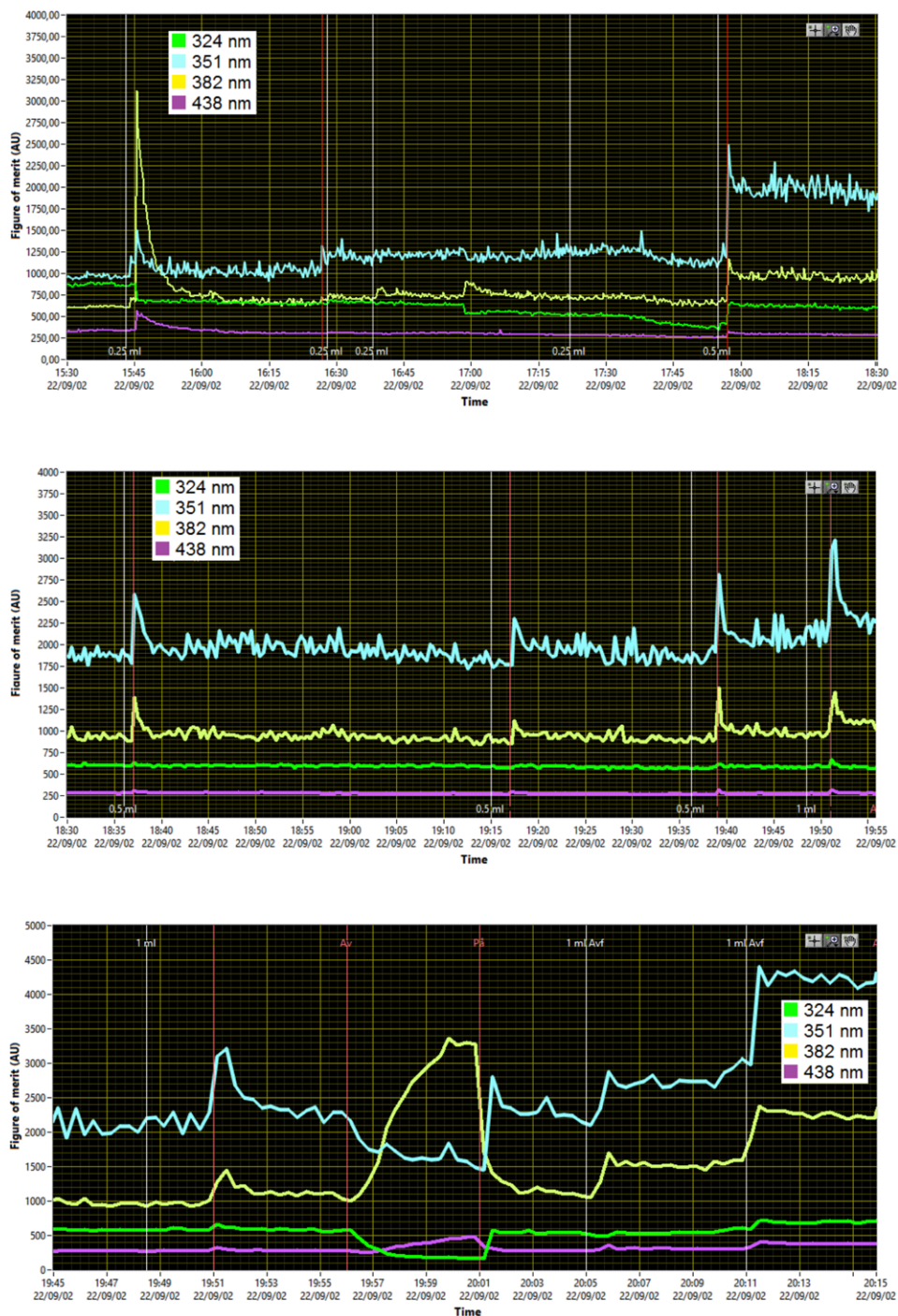
Bakgrundssignal från vattnet för de olika experimentplatserna. Vattenprov från Bälinge skickades på flaska till labbet, övriga vatten karakteriserades på plats. Mätdata från Kiruna är uppskalat 30 gånger.

Efter dessa inledande mätningar mättes responsen från spillvatten med stegvis inblandning av olja för att undersöka sensorns känslighet. Figur 4.3 och Figur 4.4 visar signalerna i de olika våglängdskanalerna efter tillsättning av olja och avfettningsmedel i omgångar från en start med 1 dl spillvatten i porslinskoppen. Efter varje tillsats infördes lite turbulens genom att snabbt variera omrörningen ett par gånger mellan 500 och 1 200 rpm. De vertikala vita strecken markerar tidpunkter när oljeblandningen (4x 0,25 ml, 4x 0,5 ml och slutligen 1x 1 ml) och avfettningsmedel (1x 1 ml Avf) tillfördes och de röda strecken när turbulens infördes eller omrörningen stängdes av/sattes på. Efter de huvudsakliga experimenten med tillförsel av olja och avfettningsmedel samlade utrustningen in data i ytterligare några dygn. Totalt innehöll provet ca 4 % olja och ca 2 % avfettningsmedel i slutet av experimentet.

När det gäller tillsättning av olja i spillvatten i labbmiljö är det viktigt att komma ihåg att olja normalt samlas på vattenytan; endast en mycket liten del återfinns i vattenvoly-men som emulsion till följd av blandning genom omrörning och/eller andra strömningar och rörelser i vattnet. Även om en emulsion kan skapas genom kraftig omrörning eller liknande så kommer oljan inom kort återigen samlas på ytan. I experimenten användes en magnetomrörare för att åstadkomma någon form av blandning, men det är oklart hur väl en sådan enkel lösning fungerar. Det kan alltså förväntas att oljesignalen är transient och bara syns tydligt när oljan passerar proben innan den till slut samlas på ytan, eller vid konstant omrörning i mitten av virveln. En viss turbulens infördes vid tillsatserna genom att variera omrörningshastigheten upp och ned för att på så vis bryta virveln och för en kort tid möjligen få en bättre blandning i vattenvoly-men. Man kan förvänta sig att ett oljeutsläpp under realistiska förhållanden i ett pumphus beter sig på ett liknande sätt och att en mätsignal från en nedsänkt prob även i detta fall huvudsakligen blir av transient karaktär.

Allmänt kan vi se att den huvudsakliga signalen hamnar i kanal 2 och 3, vilket var förväntat med tanke på att det är vid motsvarande våglängder som oljorna har störst respons. Kanal 1 och 4 visar liten påverkan från de olika oljetillsatserna och fortsättningsvis kommer därför framför allt "oljekanalerna" 2 och 3 att beaktas. Responsen syns först när turbulensen införs efter att olja tillförts. Då förekommer den dessutom

enbart som en transient som går tillbaka till grundnivån efter någon enstaka minut. En svag ökning av signalnivån kan skönjas med lite god vilja efter tillbakagången, men den kan vara inom felmarginalen.

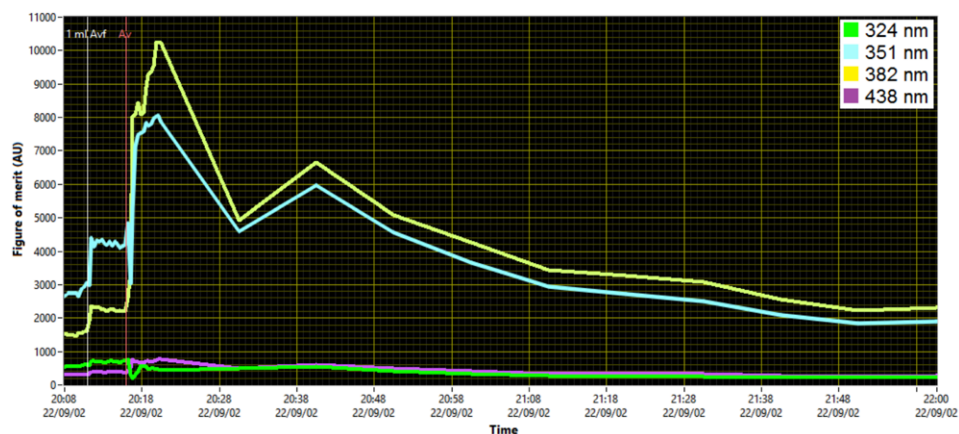


**Figur 4.3**

Fluorescensrespons vid 275 nm excitation för spillvatten och successiv tillsats av oljeblandning. Vertikala vita streck markerar tidpunkter för tillförsel av oljeblandning (eller avfettningssmedel Avf) och vertikala röda streck tidpunkter för av- och påslag eller införande av turbulens i omrörningen genom snabba variationer i hastighet.

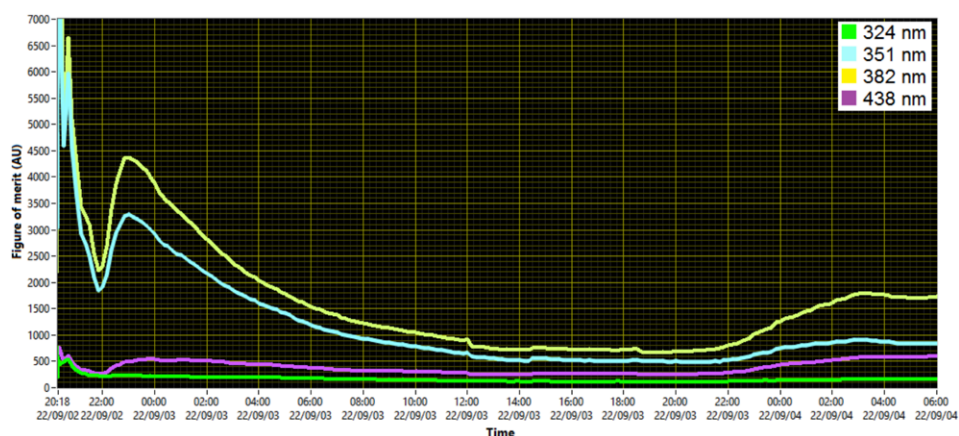
Intressant är att signalen i kanal 3 (som ligger vid maximum för oljeblandningen) går upp till en markant högre nivå under drygt två minuter efter att omrörningen stängts av (vid tidpunkten 19:56) och sedan snabbt sjunker tillbaka till ursprungsnivån igen. En förklaringsmöjlighet är att olja som under omrörningen sprits på olika nivåer i volymen då rör sig upp till ytan och passerar sensorn. När sedan omrörningen sätts i gång igen sprids den igen från sensorns detektionsområde. Varför inte samma effekt ses i kanal 2 vid det här tillfället är oklart. Allra tydligast inverkan på signalen har avfettningssmedlet

med tydliga nivåökningar på signalstyrkan vid varje tillsättning (även utan någon turbulens). Detta kanske inte är så konstigt med tanke på att avfettningsmedlet är lösligt i vatten och därför kan förväntas fördelas jämnt i vattenvolymen oavsett omrörningsparametrarna. Det är också möjligt att avfettningsmedlet till viss del löser oljan och "tar med sig" denna förbi sensorn, men som redan noterades i Figur 4.1 så har avfettningsmedlet även en stark fluorescens i sig själv.



**Figur 4.4**

Fluorescensrespons vid 275 nm excitation för spillvatten och successiv tillsats av oljeblandning (fortsättning). Vertikala vita streck markerar tidpunkter för tillförsel av oljeblandning (eller avfettningsmedel Avf).



Efter de huvudsakliga experimenten stängdes omrörningen av vid 20:16 9/2 (se Figur 4.4), men mätningarna fortsatte under något dygn till. Vi kan då igen se att signalerna i oljekanalerna stiger markant till en maxnivå, varefter de klingar av långsamt. Proben placerades strax under vattenytan och det är möjligt att oljan relativt snabbt samlades i det övre vattenskiktet resulterande i en ökande signal för att sedan långsamt koncentreras närmare ytan varvid signalen då sjunker. Det synbara hacket i kurvorna vid 20:30 9/2 är en mätartefakt (en uppsättning mätpunkter har hamnat för lågt), men den extra toppen strax efteråt vid 23:00 är mer oklar hur den uppstod (se Figur 4.4). Därefter sjunker signalen kontinuerligt under ett dygn för att sedan börja stiga igen och till slut plana ut efter ytterligare 6–8 timmar. Denna signalökning kan ha att göra med att vattnet långsamt avdunstar och förändrar avståndet mellan den nedsänkta proben och vattenytan med hög oljekoncentration. Signalbeteenden av det här slaget är av mindre intresse för en slutlig installation i pumphus eftersom man då har konstant tillförsel av nytt spillvatten och avdunstning därför inte skulle ge samma effekt.

---

## Slutsatser

- Många oljor ger en fluorescent respons som går att detektera, och det tycks även vara fallet i den typ av spillvatten som använts i experimenten även om bakgrundssignalen är relativt hög. Inblandning av 0.25 ml olja ger väldigt små signalförändringar, så det är troligt att det är svårt att detektera små oljemängder i den använda typen av spillvatten på ett tillförlitligt sätt. Inblandning av större mängder olja ger dock tydliga signaler, vilket innebär att tekniken fortfarande är relevant för tillämpningen.
- RME har en väldigt låg respons och riskerar att försvinna i bakgrunden, särskilt för spillvatten med stor andel svartvatten.
- Strömning och omrörning i vattnet har stor effekt på hur signalerna fångas upp. Olja samlas normalt på ytan och ger då en kort signal när oljevolymen passerar sensorhuvudet. Beroende på rörelsen i vattnet kan denna olja blandas in igen i olika grad och ger då ytterligare signal. Analysen måste därför genomföras med åtminstone grundläggande kännedom om förändringar i vattnets rörelser jämfört med probens placering.
- Ett avfettningsmedel av standardtyp har en fluorescensrespons som är relativt stor och dessutom till stor del överlappar i spektrum med responsen från diverse oljor. Eftersom det dessutom löses betydligt bättre i vatten så ger det en mer stabil höjning av baslinjen i signalen. Ett större utsläpp av avfettningsmedel kan därför teoretiskt misstolkas som olja, men möjligen går det att särskilja detta eftersom oljor som inte löses i vatten med all sannolikhet ger en transient signal när oljespillet passerar sensorn och sedan samlas på vattenytan. Oljevolymens storlek jämfört med mängden avfettningsmedel, vattnets strömningskaraktär och probens placering relativt vattenytan spelar dock roll i sammanhanget, och mer underlag krävs om man med säkerhet ska kunna särskilja ett utsläpp av rent avfettningsmedel från ett oljeutsläpp.

### 4.1.2 Impedansspektrometri

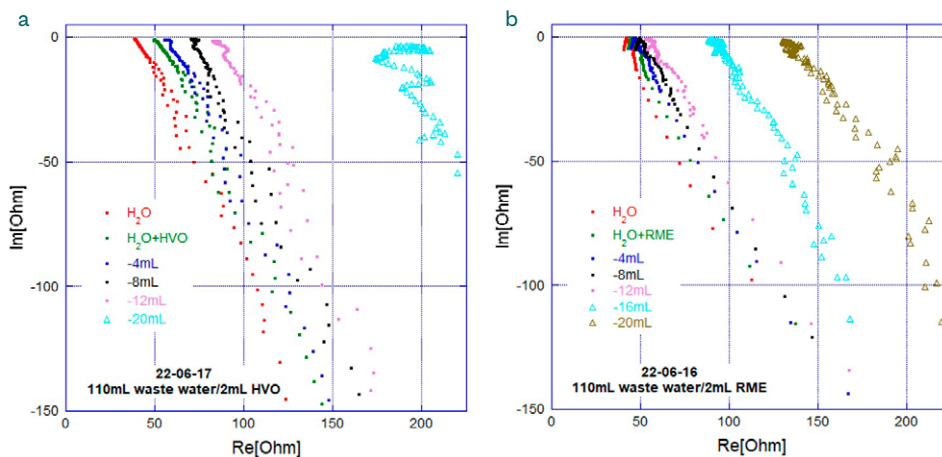
#### Resultat och diskussion

Sensorn baserad på impedansspektrometri har utvärderats i flertalet tidigare projekt och det är välkänt hur den reagerar på olja och många andra parametrar i vatten. Fokus för labbexperimenten ligger därför på utformningen av elektroderna och deras optimala placering i vattnet för just den här tillämpningen.

Försöken genomfördes i 110 ml spillvatten till vilket ca 2 ml av antingen HVO- eller RME-olja tillsattes. Detta för att verifiera att uppställningen kan detektera olja i spillvatten med koncentrationer på storleksordningen enstaka procent. Därefter sänktes vätskenivån genom successivt uttag av vätska upp till maximalt 20 ml för att utvärdera effekten av elektrodernas nedsänkingsdjup.

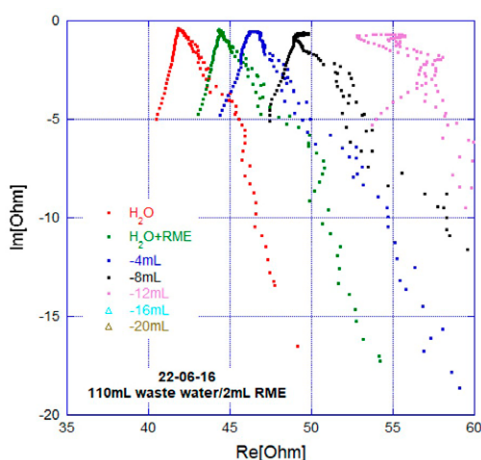
I Figur 4.5 ser man att signalen ändras när olja har tillsatts (kurvan rör sig till höger mot större realdelar) och man ser att när elektroderna mer och mer hamnar i luften förändras signalen ytterligare på liknande sätt. Uttag av ca 20 ml vätska orsakar att ca 30 % av elektrodslängderna är i luft (se turkosa trekanter i Figur 4.5 a). Effekten av RME-oljan syns tydligare i Figur 4.6 där X-skalan är uppförstorad.





**Figur 4.5**

Resultat från försök med inblandning av  
a) 2 % HVO-olja respektive  
b) 2 % av RME-olja i  
spillvatten som funktion av  
uttagen vätskevolym som  
direkt relaterar till avståndet  
mellan elektrodernas övre  
kant och vattenytan.



**Figur 4.6**

Resultat för RME-oljan  
med ändring av skalan  
jämfört med Figur 4.5.  
Det finns tydliga skillnader  
även för RME-oljan trots  
att HVO-oljan gav större  
utslagsskillnader vid  
motsvarande förhållanden.

### Slutsatser

- Det går enkelt att detektera skillnad mellan spillvatten före och efter oljetillsats för oljorna vid tillsatser runt 2 %.
- Signalen karakteristisk för olja sjunker med växande andel av elektroderna i luft. Olje-”fingeravtrycket” i vätskan är klart detekterbart även med elektroder nedsänkta med ca 15 mm under vattenytan. Den här informationen användes vid monteringen av impedanssensorn i plattformen inför mätexperimenten i Bältinge och pumpstationerna.
- Skillnaderna mellan oljetyperna i Nyquistdiagrammen i Figur 4.5 syns tydligt. Till exempel förändras realdelen för HVO-signalen (Figur 4.5 a) mer än realdelen för RME-signalen (Figur 4.5 b) vid samma tillsatt mängd av HVO respektive RME. Det finns även skillnader mellan HVO och RME i de uppmätta imaginärdelarna, men de är inte lika framträdande i bilderna.

## 4.2 Mätningar i testbädd

Påfyllning i tanken och tillsats av oljeblandning (bestående av lika delar av de fyra olika oljorna) och avfettningsmedel gjordes enligt Tabell 4.1.

#### 4.2.1 UV-fluorescens

##### Resultat och diskussion

Den egenutvecklade UVF-sensorn sattes på att registrera en mätserie (en mätpunkt för varje vald emissionsvåglängd) med 1–2 minuters intervall vid tillsatser och 5 minuter övrig tid, medan den kommersiella sensorn registrerar en mätpunkt i minuten tillsammans med ett värde på vattentemperaturen. Den sistnämnda mäter kontinuerligt och forcerar dessutom en extra registrering av mätvärdena oavsett tidpunkt så fort temperatur- eller oljesignalen börjar avvika markant.

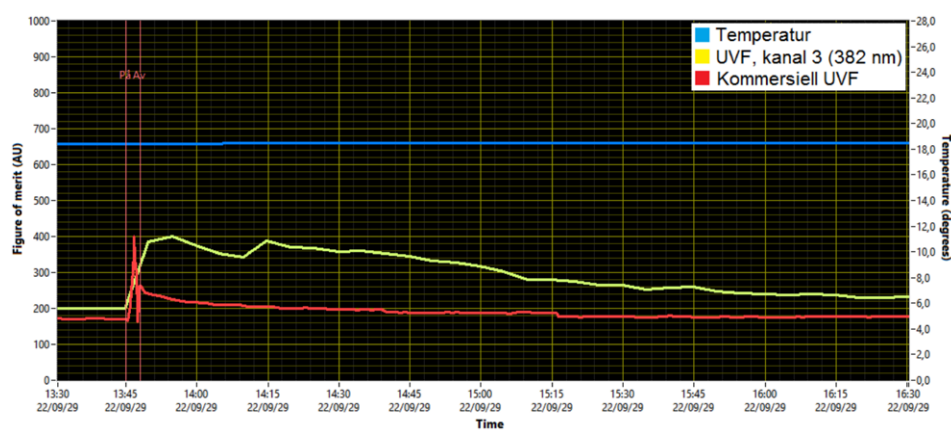
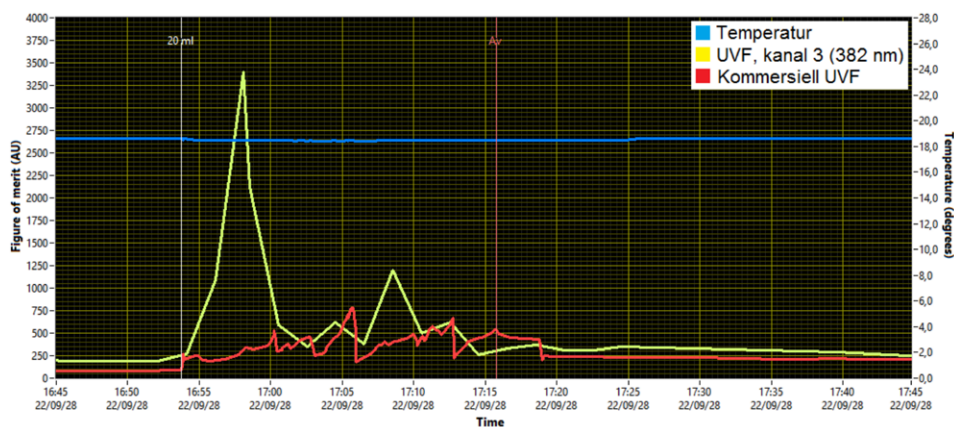
Figur 4.7 och Figur 4.8 visar resultaten från Bältingeexperimenten. För tydlighetens skull återges här bara mätdata från kanal 3 för den egenutvecklade UVF-sensorn. Övriga kanaler uppträder på liknande sätt som i labbexperimenten, dvs. kanalerna 1 och 4 visar oftast mindre påverkan och kanal 2 ger i princip samma information som kanal 3. Den kommersiella sensorn innehåller även en temperaturmätare, vars mätvärden även återfinns i graferna. Notera att sensorns oljemätvärden inte har absolutkalibrerats, så det intressanta i analysen är dess relativa utslag. Enbart perioder med intressanta händelser visas i figurerna; de tider som utelämnats har ingen relevans för analysen. I graferna finns markeringar för relevanta händelser i form av spetsningar, vattenpåfyllning och omrörning enligt Tabell 4.1.

| Tidpunkt            | Tillsats      | Olja %    | Övrig händelse                                                                     |
|---------------------|---------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 28/9 10:55          |               |           | Tanken fylls med 200 l dricksvatten, omrörning startar                             |
| 28/9 16:54          | 20 ml olja    | 0,01      |                                                                                    |
| 28/9 17:16          |               |           | Omrörning stängs av                                                                |
| 29/9 13:45          |               |           | Omrörning sätts på under 3 minuter                                                 |
| 30/9 – 6/10         |               |           | Impedanssensorn halkar ur sin hållare                                              |
| 6/10 12:54–13:40    |               |           | Plattformen rengörs, impedanssensorn justeras                                      |
| 6/10 13:56          |               | 0,007     | Påfyllning 100 l spillvatten                                                       |
| 6/10 14:01          |               |           | Omrörning sätts på under 5 minuter                                                 |
| 6/10 14:42          | 10 ml olja    | 0,01      |                                                                                    |
| 6/10 14:47          |               |           | Omrörning sätts på under 10 minuter                                                |
| 6/10 15:22          |               |           | Omrörning sätts på under 21 minuter                                                |
| 6/10 15:38          | 30 ml olja    | 0,02      |                                                                                    |
| 6/10 16:00          |               |           | Omrörning sätts på under 20 minuter                                                |
| 6/10 16:10          | 60 ml olja    | 0,04      |                                                                                    |
| 6/10 16:41          |               |           | Automatisk omrörning sätts på under 2 timmar var 12:e timme                        |
| 13/10 10:10         |               |           | Omrörning sätts på konstant för resten av experimenten                             |
| 14/10 11:21 – 11:46 |               |           | Fluorescensprober rengörs                                                          |
| 14/10 12:05         |               | 0,03      | Påfyllning 100 l spillvatten                                                       |
| 14/10 12:30         | 1 000 ml olja | 0,28      |                                                                                    |
| 14/10 14:10         |               |           | Plattformen skakas om för att lösgöra eventuellt skräp                             |
| 14/10 14:32         | 1 000 ml olja | 0,53      |                                                                                    |
| 15/10 – 25/11       |               | 0,53–1,06 | 200 l vatten avdunstar successivt, mätplattformen hamnar till slut ovanför vattnet |

**Tabell 4.1**

Tidpunkter för tillsatser och huvudsakliga övriga händelser under mätperioden i Bältinge.

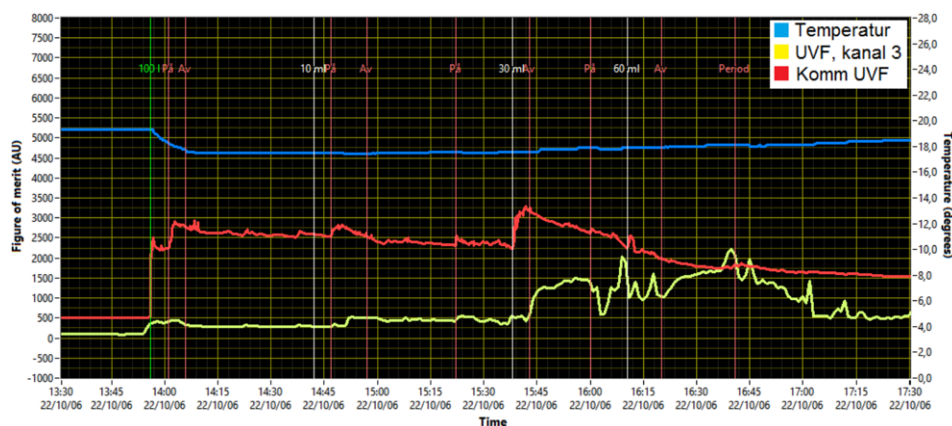
| Tidpunkt            | Tillsats                  | Olja % | Övrig händelse                                                       |
|---------------------|---------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------|
| 12/11 – 25/11       |                           |        | Mjukvarufel för den egenutvecklade UVF-sensorn: inga data produceras |
| 25/11 11:00 – 13:17 |                           |        | Underhåll av prober och plattform                                    |
| 25/11 13:44         |                           | 0,53   | Påfyllning 200 l spillvatten (ersätter avdunstning)                  |
| 25/11 14:00         | 1 000 ml olja             | 0,78   |                                                                      |
| 25/11 14:25         |                           |        | Plattformen skakas om för att lösgöra eventuellt skräp               |
| 25/11 14:30         | 1 000 ml avfettningsmedel |        |                                                                      |
| 25/11 15:02         | 1 000 ml avfettningsmedel |        |                                                                      |
| 25/11 15:37         | 1 000 ml olja             | 1,03   |                                                                      |
| 25/11 16:31         |                           |        | Experimenten avslutas                                                |



**Figur 4.7**

Vattentemperatur och respons från fluorescenssensorerna för mätningar i testbädden i Bältinge. Vertikala vita streck markerar tidpunkter för tillförsel av oljeblandning (eller avfettningsmedel Avf), gröna för tillförsel av spillvatten och röda streck markerar omrörning. Sista markeringen i den tredje grafen avser start för periodisk omrörning (2 timmar var 12:e timme). Utelämnade tidsperioder innehåller inga relevanta data.



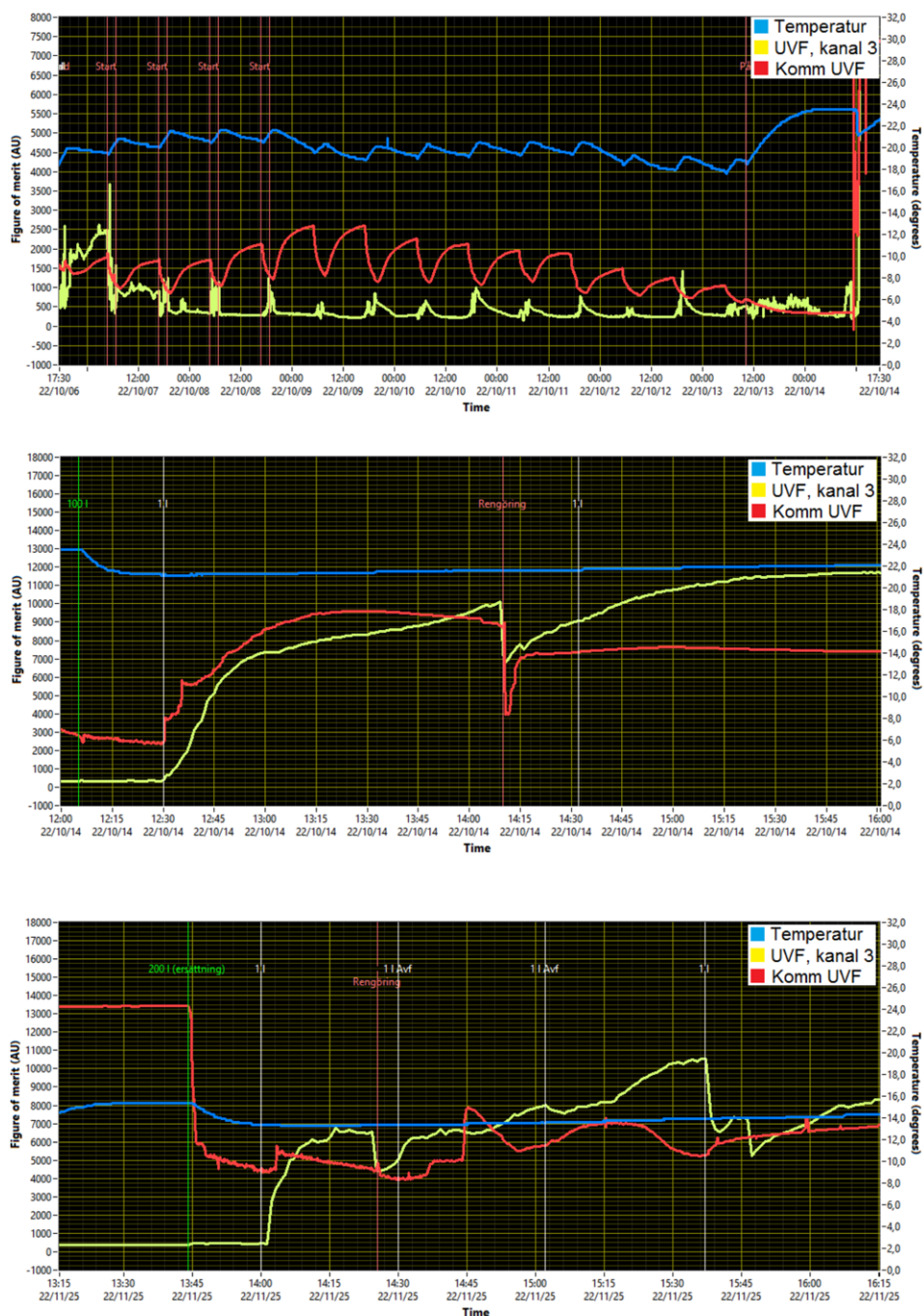


Allra först gjordes en liten tillsats av olja i dricksvatten och som väntat gav den ett tydligt utslag för båda sensorerna (28/9 16:54, Figur 4.7). Det är igen tydligt att det rör sig om transienter som är beroende av omrörning/strömning kring sensorerna: så fort omrörningen slås av (28/9 17:16, Figur 4.7) ”lugnar” sig mätvärdena och börjar klinga av. När omrörningen sätts på under 3 minuter efter ett dygns avklingning ses direkt en förhöjning i signalen som sedan börjar klinga av igen (29/9 13:45, Figur 4.7). På samma sätt som i labbförsöken är det även i dessa experiment tydligt att spillvattnet bidrar till en förhöjd fluorescenssignal; när spillvatten fylls på (6/10 13:56, Figur 4.7) ökar signalen i båda sensorerna. Vi kan även se att temperaturen sjunker några grader, vilket är naturligt eftersom vattnet i tanken inomhus hunnit värma upp sig något jämfört med vattnet som tillförs.

För varje mindre oljetillsats kan man se en liten indikation på höjt värde för båda sensorerna (delvis först i samband med tillhörande omblandning), men särskilt för tillsatsen av 60 ml (6/10 16:10, Figur 4.7) är det ett mycket litet ”hack” i kurvorna, trots att koncentrationen då fördubblades. Det är sannolikt att mätvärdena är rätt beroende av hur väl inblandningen är och efter initialt brus i signalen efter denna tillsats sjunker signalerna tillbaka till en lägre nivå, för den egenutvecklade sensorn på en högre nivå än innan någon olja tillfördes. Värt att komma ihåg är också att vi här talar om låga oljekoncentrationer totalt på runt en halv promille.

Beroendet på omrörning syns extra tydligt när pumpen körs två timmar två gånger om dygnet (med start 6–11/10, Figur 4.8). När pumpen är aktiv sjunker signalen för den kommersiella sensorn och den egenutvecklade visar markant brus, när den stängs av återgår signalerna till samma värde som tidigare. När pumpen sätts på permanent för resten av experimenten (13/10 10:10, Figur 4.8) sjunker värdena på kommersiella sensorn till en stabil grundnivå och temperaturen når en jämviktstemperatur några grader över temperaturen utan omrörning.

Man kan se i data att en regelbunden rengöring av mätproberna, helst före varje mätning, är nödvändig för att få stabila resultat. Detta är särskilt tydligt när mätplattformen vid två tillfällen ”ruskas om” för att lösgöra eventuella ansamlingar (14/10 14:10, 25/11 14:25, Figur 4.8); tydliga hack uppkommer för båda sensorerna. Effekten av rengöringen beror i varje enskilt fall på hur igensatt sensorn råkar vara vid den tidpunkten.



**Figur 4.8**

Vattentemperatur och respons från fluorescenssensorerna för mätningar i testbädden i Bälunge. Vertikala vita streck markerar tidpunkter för tillförsel av oljeblandning (eller avfettningssmedel Avf), gröna för tillförsel av spillvatten och röda streck markerar omrörning. I första grafen markeras dock bara de första fyra periodiska pumpkörningarna (2 timmar var 12:e timme). Utelämnade tidsperioder innehåller inga relevanta data.

När en tillsats av 1 liter oljeblandning görs vilket ökar oljekoncentration avsevärt (14/10 12:30, Figur 4.8) blir responsen markant för båda sensorerna, men efter ännu en tillsats två timmar senare med 1 liter oljeblandning syns ingen ytterligare påverkan i responsen för någon av dem. Det är lite oklart varför, men det kan bero på en kombination av att sensorerna började bli rätt igensatta och att den totala koncentrationen var rätt hög (runt 0,5 %).

Under de veckor som gick före sista mättillfället sjönk först båda signalerna ned till nära noll på några dygn och därefter avdunstade ca 200 liter vatten, vilket till slut fick mätplattformen att hänga ovanför ytan så att sensorerna kom upp ur vattnet. När sedan sensorerna hissades upp, rengjordes ordentligt och sattes tillbaka i vattnet så steg signalen från den kommersiella sensorn till närmare dubbla värdet, troligen som följd av att den faktiska oljekoncentrationen ökat genom avdunstningen förutom själva rengöringen. Signalen sjönk ned till ungefär samma nivå som tidigare när spillvatten

---

fylldes på till den ursprungliga nivån (25/11 12:05, Figur 4.8). Intressant nog hände inte mycket med den egenutvecklade sensorns signal efter rengöringen.

Ytterligare en liter oljeblandning (25/11 14:00, Figur 4.8) gav igen en tydlig signalökning för båda sensorerna, men när sedan totalt 2 liter avfettningsmedel tillsattes i två omgångar och sedan en avslutande tillsats med en sista liter oljeblandning så går det inte att se någon uppenbar korrelation med sensorernas signaler. Dessa varierar en hel del, men det ser snarast ut att vara till följd av variationer i blandningen närmast sensorhuvudena. Möjligen har vi här nått någon form av mättnadsgrad av fluorescensen så att signalerna inte ökar nämnvärt med koncentrationen längre, men ytterligare experiment skulle behövas för att veta med säkerhet. Samtidigt är detta inte centralt för tillämpningen, eftersom målet inte är att kunna mäta en exakt koncentration av oljan.

### Slutsatser

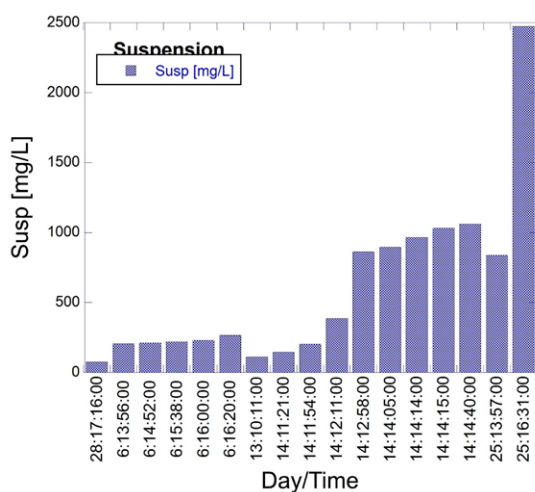
- Även om det tycks vara möjligt att detektera små koncentrationer (delar av promille) så är signalförändringarna minst lika stora till följd av heterogeniteter i blandningen och strömningen i sensorernas närhet. Det är därför sannolikt svårt att säkerställa detektionen på den nivån i det här sammanhanget. Större koncentrationer på delar av procent och däröver (som det troligen rör sig om vid ett oljeutsläpp som kräver omedelbara åtgärder) ger dock så pass markanta signalförändringar att de tydligt syns över bruset för båda sensorer.
- Även om det inte var lika tydligt som i labbexperimenten så indikerar även mätningar på testbädden att signalerna vid ett oljeutsläpp skulle vara av transient karaktär: när systemet lämnas ifred, även med omrörningen i gång, så sjunker signalnivåerna till slut till nära noll. Det är därför viktigt att mätningar kan göras med tillräckligt hög frekvens för att detektera ett oljeutsläpp. Hur hög frekvensen behöver vara beror på storleken på de utsläpp som behöver detekteras, men även på geometrin och vattenströmningarna kring sensorerna.
- Det framstår tydligt att automatisk rengöring av sensorerna är viktigt, helst inför varje mätning. Igensättning av mät huvudena kan påverka signalstyrkan betydligt och antingen dölja signalen från förbiströmmande olja eller ge ett falskt utslag. Denna felkälla kan ta sig uttryck både som signaldrift under längre tid och som transienter beroende på om det långsamt byggs upp en bakteriefilm eller liknande eller om större partiklar fastnar under kortare tid och då orsakar en stark signal tills de faller av igen.
- Både den egenutvecklade och den kommersiella sensorn ger liknande utslag i signalen vid oljeförekomster. Den kommersiella har en något mera stabil signal (troligen till följd av intern kompensation för störkällor) men reagerar även den på olika grader av omrörning och igensättning. Det bör här nämnas att tillverkaren rekommenderar automatisk rengöring före varje mätning.
- Avfettningsmedlet gav inget utslag i experimenten, vilket kan vara på grund av rådande koncentrationer och blandningsförlopp, men vi kan i alla fall konstatera att det inte heller maskerade signalen från oljan.
- Mätplattformen och systemet i övrigt verkar efter några små uppgraderingar av de 3D-utskrivna sensorhållarna vara stabil nog att ta ut i fälttester i pumpstationer.

### 3.2.3 Impedansspektrometri

#### Resultat och diskussion

Inverkan av suspensionshalten (se Figur 4.9) var med all sannolikhet kraftig på impedansändringar då metoden inte är oljespecifik utan varierar med förändringar av bidragen från andra faktorer såsom partiklar/joner lösta i vatten, och alltså både vid tillsättning av spillvatten och olja. Resultat av laboratorietester som presenterades i avsnitt 4.1.2 var tagna med ett litet prov förhållandevis homogent spillvatten. I Bälinge rörde det sig om större volymer spillvatten som fylldes på i omgångar och dessutom rörde sig runt så att resultatet inte nödvändigtvis blev lika homogent, något som indikerades

av variationerna i suspensionshalt. Därför finns det en del skillnader i resultat jämfört med laboratorietesterna. Se till exempel Figur 4.5 där varje oljeaddition orsakar en ”rigid” och mer eller mindre frekvensoberoende förflyttning av datapunkter mot högre ReZ, medan resultaten i Figur 4.10, Figur 4.11 och Figur 4.12 är mer komplexa, bland annat med en förflyttning mot lägre ReZ och tillbaks för högre frekvenser. Vattnets impedans beror på många faktorer och den tydliga oljesignalen i labbexperimenten kan delvis täckas av signalen från andra variationer i det tillsatta spillvattnet vilket inte var lika välbestämt som i labbmiljön. Vid höga frekvenser (se övre vänstra delen eller inklippt förstoring i Figur 4.10) är skillnaderna mellan resultat efter första oljetillsatsen (orange kurva) större än vid nästkommande tillsatser (gula och lila kurvor). Dessutom sammanfaller resultat efter de senare tillsatserna med varandra och med kurvan före tillsatser av olja, dvs med endast spillvatten (blå kurva).



**Figur 4.9**

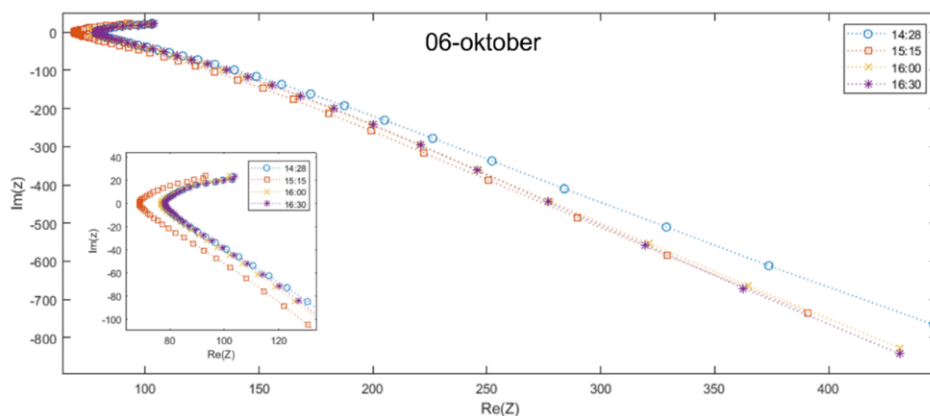
Tidslogg av suspensions-  
ändringar under  
mätningar i Bältinge  
(dag:timme:minut:sekund).

Vid låga frekvenser (nedre högra delen) däremot så skiljer sig kurvorna för spillvatten respektive oljeadditioner från varandra, även om skillnaderna är störst för de första tillsatserna. Avvikelsen från spillvattenkurvan är det som gör att olja kan detekteras.

Mätningarna efter ytterligare tillsättningar (Figur 4.11 och Figur 4.12) ger upphov till liknande kurvor, men skillnaden i signal mellan olika oljekoncentrationer är inte väldigt tydlig.

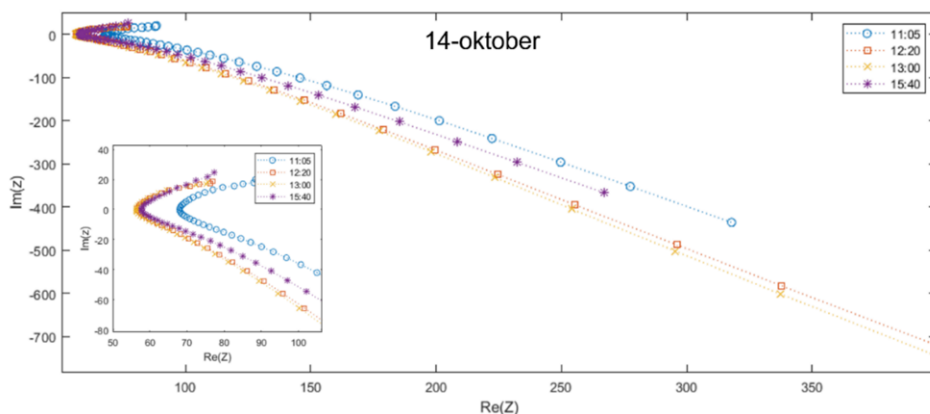
Eftersom responsen vid oljetillsättning inte är lika tydlig som i labbexperimenten är det troligt att inverkan av spillvattnets koncentrationsgradienter inte kan försummas.

Det är även intressant att titta på hur signalen vid de olika frekvenserna utvecklas över tid, vilket visas i Figur 4.13, Figur 4.14 och Figur 4.15 för 1 Hz. Inblandningsgradienter mellan spillvattnet och oljan bidrar till tolkningssvårigheter, vilket tyder på att två olika processer äger rum: dels utjämning av spillvatten och dels tillförsel av olja. Dessa två processer kan troligtvis skiljas åt med hjälp av mer avancerad databehandling om så skulle behövas, men detta ligger utanför ramen för det nuvarande projektet.



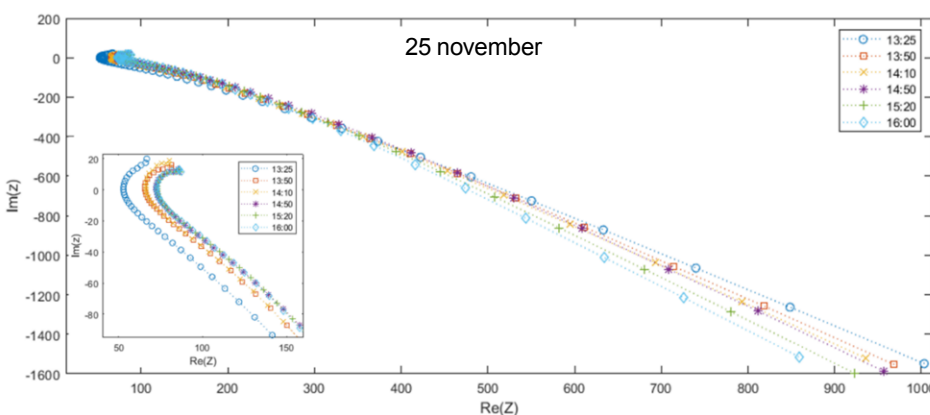
**Figur 4.10**

Nyquist-diagram av resultat erhållna efter tillsatser 06-10-22. Blå kurva innan tillsats av olja, orange kurva efter första tillsatsen (kl. 14:42), gul kurva efter andra tillsatsen (kl. 15:38) och lila kurva efter tredje tillsatsen (kl. 16:10).



**Figur 4.11**

Nyquist-diagram – resultat erhållna efter tillsatser 14-10-22.



**Figur 4.12**

Nyquist-diagram efter de viktigaste tillsatserna – resultat erhållna efter tillsatser 25-11-22.

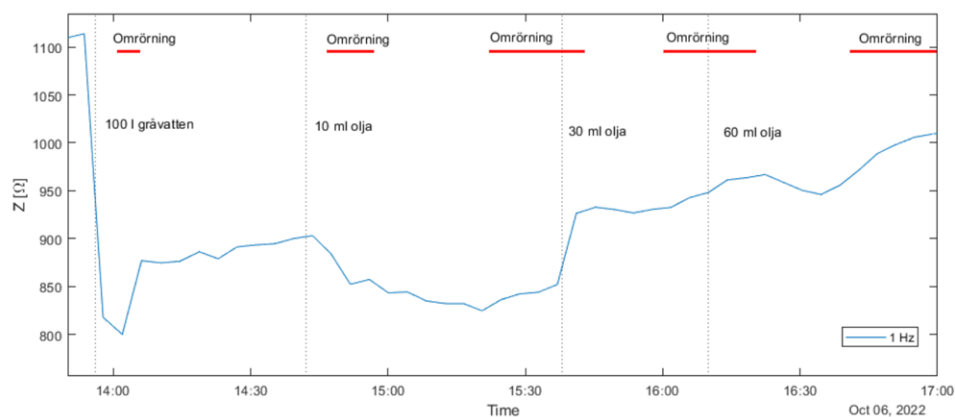
Trots tolkningssvårigheterna är det dock troligt att större oljeutsläpp som passerar sensorn kommer ge upphov till en tydlig signal i exempelvis ett pumphus. Vid första större tillsatsen av olja (Figur 4.14) kan man se en förändring av signalen efter en tid när vattenförhållandena stabiliserats.

Vi kan även konstatera att detta problem snarast är en artefakt från testuppställningen med en liten tank där spillvatten tillförs och sedan blandas. I en pumpstation kan vattnet antas vara betydligt mera homogent i sin sammansättning.

Även om vissa utslag i kurvorna kan spåras till specifika händelser (exempelvis togs plattformen upp och UVF-proben rengjordes klockan 11:21–11:46 i Figur 4.14 och den skakades även om klockan 14:10 för att lösgöra skräp), så kan långt ifrån alla signalförändringar förklaras i dagsläget.

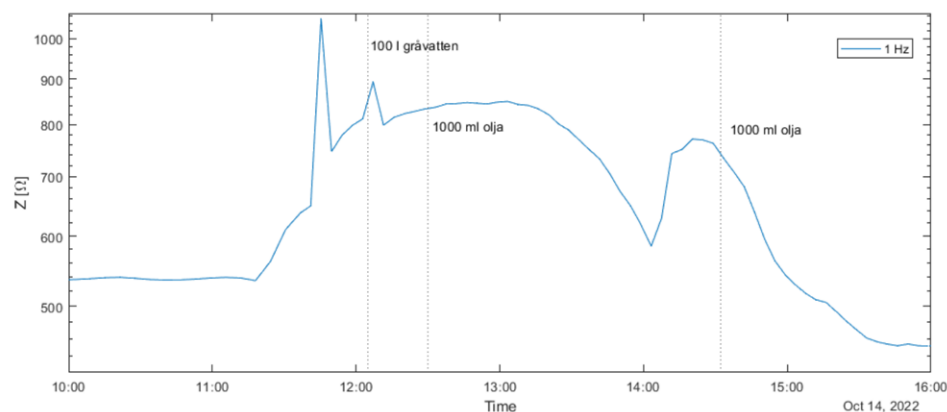
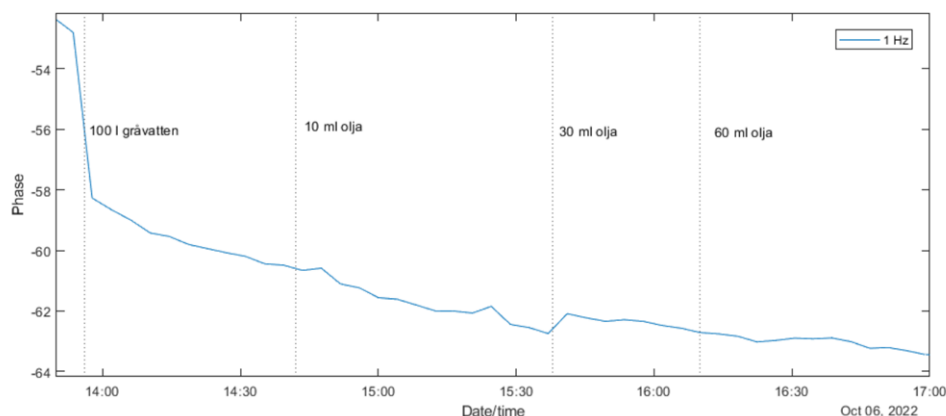
## Slutsatser

- Impedanssensorn klarar av att mäta olja med koncentrationer ner till enstaka procent, men mindre koncentrationer är svåra att upplösa i den här typen av vatten.
- Försök liknande de i Bältinge med längre perioder mellan tillsatserna kombinerade med kemiska analyser av vatten är nödvändiga för att åstadkomma en tillförlitlig dataanalys och bygga upp AI-baserade algoritmer som skulle bidra till inte endast analys av olja utan även av några ständigt återkommande komponenter i spillvatten vid reningsverken.



**Figur 4.13**

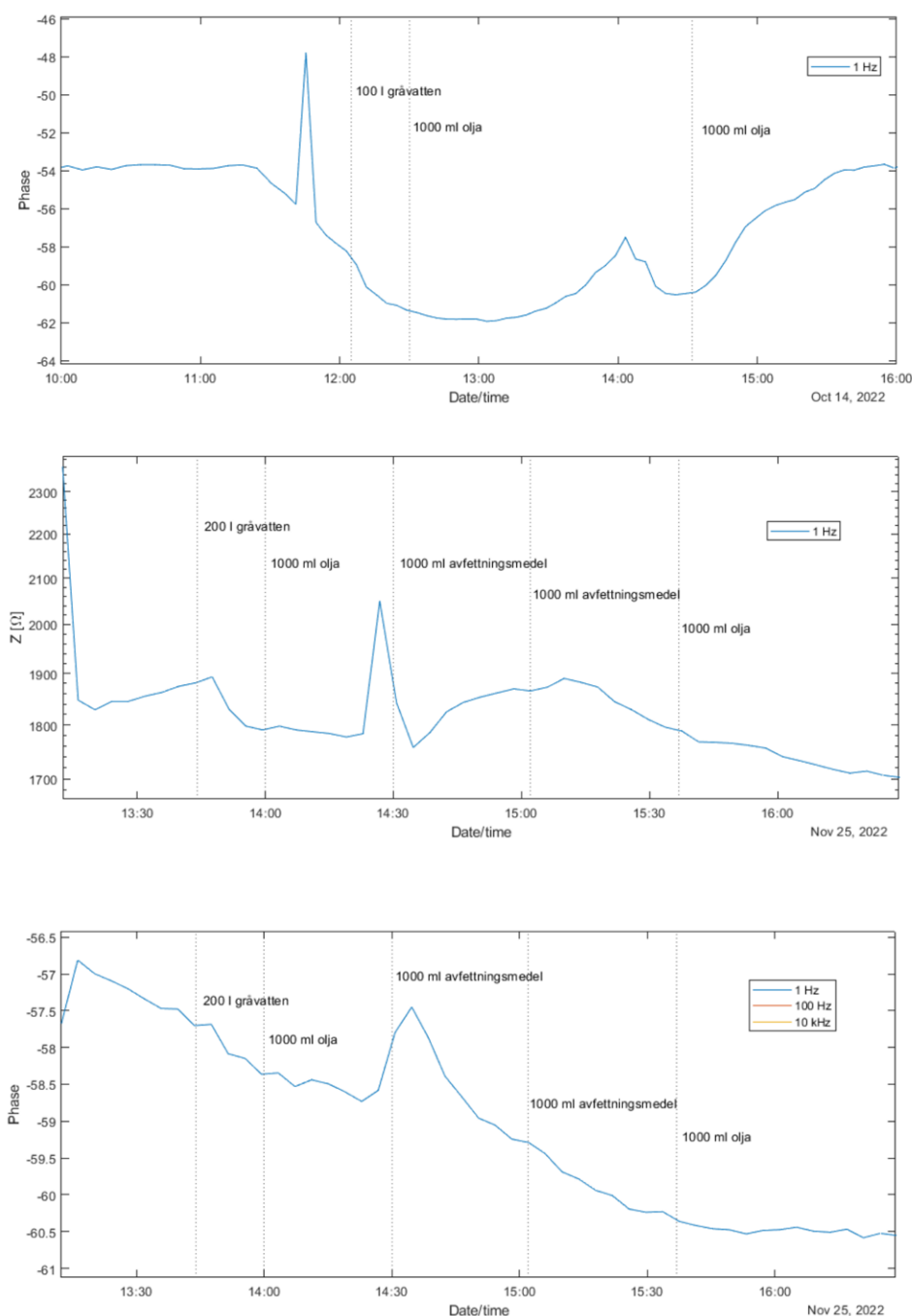
1 Hz -impedansrespons till låga oljetillsatser vid försöken 6/10. Tanken fylldes först med 200 liter dricksvatten som blandades med 20 ml oljeblandning och därefter med 100 liter spillvatten (kl.13:56 i figuren). Resultat vid övriga frekvenser kan läsas av från Nyquist-plott (Figur 4.2-4).



**Figur 4.14**

Impedansrespons efter större oljetillsatser 14/10. De två kraftiga "spikarna" i figuren (strax för kl. 12 och runt kl. 14) är artefakter som troligen beror på att sensorplattformen rördes (kl.11:21–11:45 och 14:10). Tanken fylldes med 100 liter spillvatten (strax efter kl. 12 i figuren).





**Figur 4.15**

Impedansrespons efter ytterligare oljetillsats och två avfettningssyklar, 25/11. Den kraftiga "spiken" i figuren (strax efter kl. 14:30) är troligtvis en artefakt som kan bero på att sensorplattformen skakades 14:25 för att avlägsna skräp. Tanken fylldes med 200 liter spillvatten (runt kl. 13:45 i figuren).

## 4.3 Fälttester i Borås

### 4.3.1 UV-fluorescens

#### Resultat och diskussion

I Figur 4.16 visas resultaten från mätningarna under drygt tre månader tillsammans med de huvudhändelser som påverkat mätdata: avspolningar av plattformen och ett byte av pump i pumpstationen som resulterade i en kortvarig förändring i vattennivån. Utöver de registrerade avspolningstillfällena som markerats i figuren gjordes även några till som med all sannolikhet orsakade de sista tre brusansamlingarna som är extra tydliga för den kommersiella sensorn.

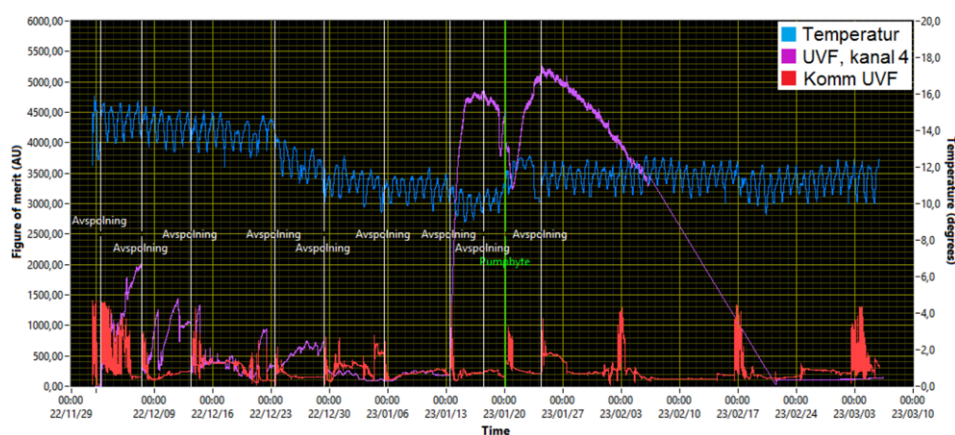
För den egenutvecklade fluorescenssensorn visas här kanal 4 i stället för kanal 3 som tidigare, detta eftersom den höga bakgrunden fick kanal 3 att bottena under delar



av periodens andra hälft. Kanal 4 visade sig variera på samma sätt, men med en lägre intensitet som fortfarande låg inom det definierade mätområdet.

Vi kan se att signalerna, särskilt från den kommersiella sensorn, är betydligt brusigare än i Bälinge. Detta har med all sannolikhet att göra med den högre bakgrunden och troligen en större inhomogenitet med fler partiklar som passerar mät huvudena på olika sätt vid varje mätning. För den kommersiella sensorn är bruset så stort att det maximalt kommer upp i samma storleksordning som tillsatsen av olja till koncentrationer på runt procenten, vilket behöver tas hänsyn till i analysen. Det är dock troligt att ett oljeutsläpp har annan karakteristik (högre signal under längre tid) och vidare bör automatisk rengöring före varje mätning ta bort en stor del av bruset.

För varje avspolningstillfälle förändras signalen i sensorerna: den kommersiella uppvisar förhöjt brus (eller åtgår till en jämnare lägre nivå) och den egenutvecklade visar oftast en stigande signalnivå som "nollställs" vid avspolningarna. Det troliga är att fluorescenta bakteriefilmer och skräp byggs på och sätter igen mät huvudena med tiden, vilket resulterar i signalförändringarna. Avspolningarna är inte omfattande utan görs med dricksvatten under tryck genom mätplattformens skyddsgaller, vilket slår bort lite olika stora andelar av avlagringarna varje gång. Signalerna är därför inte alltid likadana efteråt. Avspolningen på förmiddagen 13/1 ger upphov till en massiv signalökning för den egenutvecklade sensorn, men ingen speciell förändring utöver det vanliga hos den kommersiella (eller hos impedanssensorn). Det rör sig därför med all sannolikhet inte om ett oljeutsläpp utan snarare om en stor bit fluorescent skräp som fastnat på sensorhuvudet och som släppte först efter den sista noterade avspolningen 24/1.



**Figur 4.16**

Vattentemperatur och respons från fluorescenssensorerna i Gåsslösa under mätperioden. Endast fjärde mätkanalen visas för den egenutvecklade sensorn. Denna har samma variation som oljekanalerna men med lägre intensitet som uppvisar färre mätartefakter orsakade av den höga bakgrundsnivån i vattnet. Vertikala markörer visar händelser av relevans för mätningarna. Den kommersiella sensorns signal är nerskalad 10 gånger jämfört med mätningarna i Bälinge. Ett mjukvarufel gjorde att den egenutvecklade sensorn inte producerade data 12–24/2.

Grundsignalnivån som båda sensorerna håller sig till i perioder efter rengöring och med mindre brus bör ge utrymme för tydliga signalstegringar vid oljeutsläpp. Givet resultatet från Bälinge kan en vattenvolym med hög oljekoncentration förväntas generera en signal som är 2–3 gånger högre för den kommersiella sensorn och minst en faktor 10 högre för den egenutvecklade.

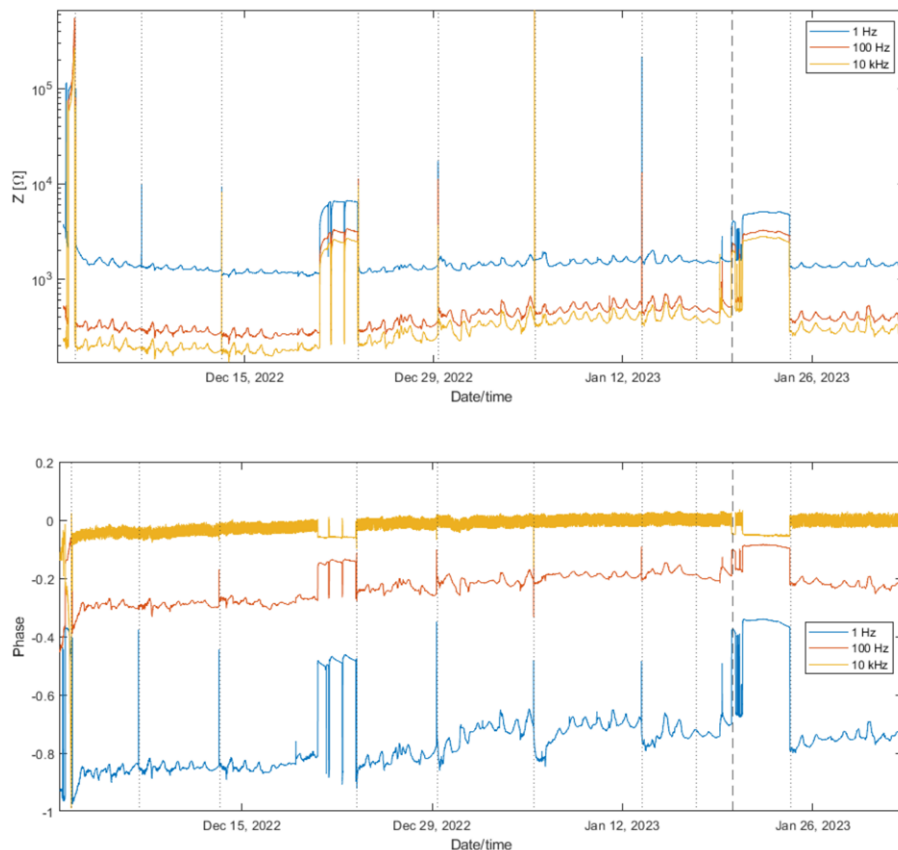
### Slutsatser

- Vikten av automatisk rengöring av mät huvudena före varje mätning blir extra tydlig när vattnet har en hög halt av svartvatten. Både den höga bakgrundssignalen och kringflytande skräp och partiklar gör att signalerna blir brusiga och svårtolkade med risk för fellarm eller maskering av relevanta signaler från olja.
- Resultaten indikerar att givet en ordentlig automatisk rengöring så bör sensorerna trots den höga bakgrundssignalen kunna hålla sig till nivåer som medger en ytterligare markant ökning vid oljeutsläpp.

### 4.3.2 Impedansspektrometri

#### Resultat och diskussion

Som synes i Figur 4.17 har det inte hänt mycket varken vad gäller fasen eller amplituden över hela tiden i Borås. Med hänsyn till diskussionen av resultat i Bältinge (avsnitt 4.2.2) ser det lovande ut att använda impedansmätningar.



**Figur 4.17**

Impedansens amplitud (övre figur) respektive fas (nedre figur) som funktion av tiden vid tre olika frekvenser. De vertikala prickade linjerna markerar avspolningsdatum och den vertikala streckade linjen markerar pumpbyte.

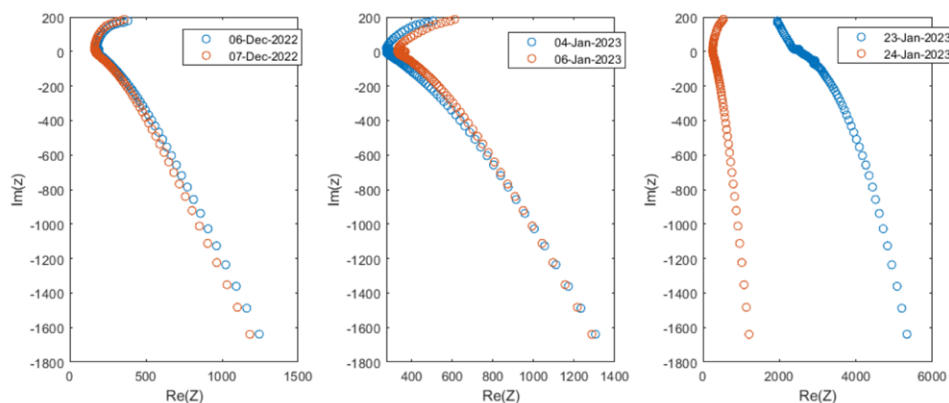
Förutom en kraftigare variation initialt när mätningarna påbörjades har varken fasen eller amplituden ändrats med mer än 20 % under mer än två månader sånär som vid två tillfällen runt 22/12 och 20/1 i Figur 4.17, övre diagrammet. Ur Figur 4.17 framgår följande:

1. Signal-”avvikelserna” började långt före respektive långt efter (dagar) avspolningarna, men avslutades vid/efter en avspolning.
2. Signal-”avvikelser” återkom till de ”normala” värdena efter respektive spolning.
3. Kortidsbruset för fasen från signalen vid 10kHz minskade drastiskt under de två perioderna.

Vi kan endast spekulera om orsaker till dessa två fenomen. En möjlig orsak kan vara en elektrisk störning, till exempel frånfalle av omrörning/pumpning skulle kunna bidra till minskat signalbrus. En annan möjlighet kan vara en plötslig och kraftig temperaturändring. Att en stor luftbubbla har fastnat vid/nära impedanssensor och lossnat under spolning är också möjligt, men samtidigt är det inte uppenbart hur en temperaturändring eller luftbubbelbildning skulle orsaka en minskning av signalbruset.

Ur det vänstra och det mittersta diagrammet i Figur 4.18 framgår det att impedansvärdena förblev desamma efter spolningarna som de var före spolningarna. Däremot så ändrades impedansvärdena vid de två tillfällena vid 22/12 och 20/1 i Figur 4.17: resultat från 23/1 och 24/1 visade att  $\text{Re}Z$  ökade med över fyra gånger jämfört med  $\text{Re}Z$ -värdet

efter det spolningstillfället, medan  $\text{Im}Z$  och kurvformen förblev i det närmaste oförändrade. Vid det tillfället ägde pumpbytet rum så pumpen var igång den 24/1 och impedansvisningen återgick till tidigare värden (t.ex. med avseende på brusnivå för 10 kHz-signalen) medan den 23/1 var signalnivån ”avvikande”. För vidare utvärderingar skulle det behövas en mer detaljerad loggbok med händelser knutna till (åtminstone en grov beskrivning av) vatteninnehållet/pumpning, och liknande.



**Figur 4.18**

Nyquist-diagram (se avsnitt 3.2.2 och Figur 3.4) av försöksresultat från tre olika tillfällen strax före (blåa kurvor) respektive strax efter (röda kurvor) en enskild avspolning.

Tyvärr så kunde vi inte samla in data under senare delen av försöken då en av de elektriska anslutningarna lossnade.

### Slutsatser

- Sensorsystemet fungerade under nästan tre månader utan behov av tillsyn och utan störningar i dataöverföring/mottagning. Det elektriska avbrottet skedde först nära slutet av mätperioden och har avhjälpes genom en mer stabil konstruktion av anslutningarna.
- I ett eventuellt nästa steg vore det givande att utföra kemiska analyser på små (några liter) vattenprov tagna med jämna mellanrum (t.ex. 2–3 gånger/vecka) under tiden som försöken fortlöpte. Detta skulle underlätta tolkningen av mätdata.

## 4.4 Fälttester i Kiruna

### 4.4.1 UV-fluorescens

#### Resultat och diskussion

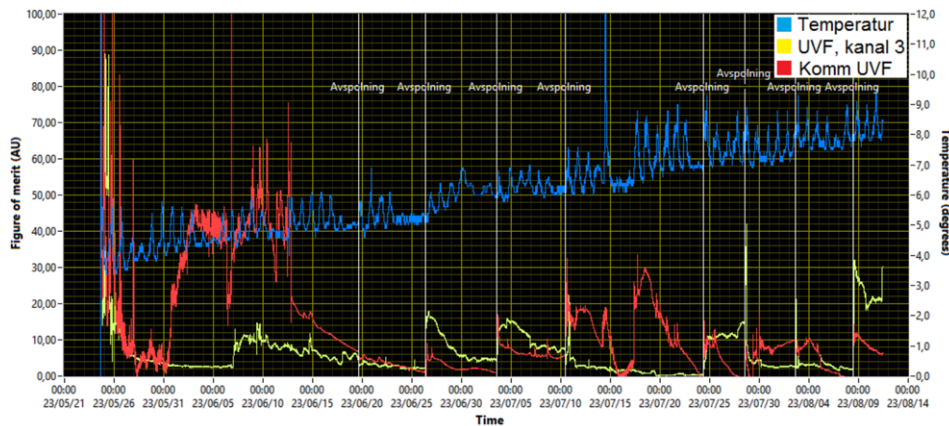
Skillnaden i fluorescens för spillvattnet i denna pumpstation syns tydligt i Figur 4.2; den maximala intensiteten är drygt två storleksordningar lägre än för spillvattnet i Borås. Observera att mätdata från Kiruna har skalats upp med en faktor 30 i grafen.

Figur 4.19 visar resultaten från mätningarna under knappt tre månader tillsammans med de huvudhändelser som påverkat mätdata. Det gjordes även några avspolningar före 19/6, men de exakta tidpunkterna registrerades inte. Notera att skalan är 1–2 storleksordningar mindre än för tidigare mätningar.

Mätningarna visar som väntat mindre brus än i Gässlösa; vattnet har betydligt färre partiklar och skräp som fluorescerar och ger variationer i mätvärdena. Signalerna visar mer brus och större variation de första dagarna efter installationen men går sedan ner till en basnivå som är mycket låg och snarast är i paritet med nivå för mätningar på dricksvatten (jämför Figur 4.7 före klockan 16:54). För jämförelse med tidigare mätningar, notera att den kommersiella sensorns signal här har skalats ner 20 gånger jämfört med Bålingemätningarna.

Medan signalen från den egenutvecklade sensorn ökade över tid i Gässlösa mellan

avspolningarna så ser man här ett avtagande och efter en avspolning återgår signalen till en högre nivå för att sedan igen klinga av. Ett liknande beteende kunde ses i resultaten från Bältinge, men i det fallet rörde det sig sannolikt om olja som åter blandades in i det slutna tanksystemet vid omrörning, medan orsaken här bör vara en annan eftersom vi inte har ett slutet system.



**Figur 4.19**

Vattentemperatur och respons från fluorescenssensorerna i Kiruna under mätperioden. Vertikala markörer visar händelser av relevans för mätningarna. Den kommersiella sensorns signal är nerskalad 20 gånger jämfört med mätningarna i Bältinge.

Det finns förhållandevis lite fluorescent material i vattnet, men i mätningar på dricksvatten i tidigare projekt (alltså väldigt lite fluorescent material i jämförelse) fick man också en långsam ökning av signalen över tid som följde av biofilmsuppbbyggnad, så det är inte självklart att vatten med mindre förekomst av fluorescent material och partiklar resulterar i en avtagande signal. Man kan möjligen tänka sig att fluorescent material ansamlas i buren under mätplattformen och sedan sköljs bort vid avspolningarna, men det är inte uppenbart varför så skulle ske. Ett alternativ är att det översta vattenlagret är betydligt mer stillastående än i den öppna bassängen i Borås och att mätsituationen då trots allt har vissa likheter med den i det slutna systemet i Bältinge. Fluorescent material (även om det inte är olja) kanske då samlas på ytan eller annan nivå på ett visst avstånd från mät huvudena. När plattformen hissas upp för avspolning, kanske i samband med annat arbete med pumpen, byts vattnet ut och/eller vattenlagren blandas om igen. Även om orsaken till signalbeteendet är oklart för närvarande så har det ingen betydelse för detektionen av oljeutsläpp. Signalnivåerna ligger närmare 1–2 storleksordningar under vad som skulle förväntas för en vattenvolym med hög oljekoncentration enligt Bältingemätningarna, så allt tyder på att man skulle få en tydlig signalökning i händelse av ett oljeutsläpp.

Den kommersiella sensorn har två perioder med förhöjda signalnivåer: runt månads-skiftet maj/juni och kring mitten av juli. Det rör sig fortfarande om mycket lägre nivåer än vad man skulle förvänta sig för ett oljeutsläpp och den egenutvecklade sensorn ger heller ingen motsvarande signal. Det är svårt att säga exakt vad detta beror på, men det kan igen röra sig om påverkan från avspolningen; möjligen har något mer fluorescent fastnat nära sensorhuvudet för att sedan falla av efter en tid. Även om den generella nivån på bakgrundsfluorescens är låg så är den med all sannolikhet inte helt homogen och det kan fortfarande finnas volymer och/eller material med högre fluorescens som kan påverka på liknande sätt som i vatten med högre inblandning av svartvatten.

### Slutsatser

- Signalnivåerna är betydligt lägre än för tidigare experiment och vi har även ett lägre brus, vilket är att förvänta för spillvatten med lägre inblandning av svartvatten och därmed mindre fluorescent bakgrundsmaterial.
- Liksom vid tidigare experiment ser vi att signalen driver över tid och återgår till en ungefärlig basnivå när sensorerna grovrengörs genom avspolning. I det här fallet

avtar dock signalen med tiden i stället för att öka som i fallet med "svartare" vatten. Orsaken till detta beteende är oklart men bör inte ha någon inverkan på möjligheten att detektera oljeutsläpp; ett sådant bör ge signalnivåer som är flera storleksordningar högre.

- Än en gång får vi verifierat att det är viktigt med ordentlig automatisk rengöring inför varje mätning för att få en stabil signal.

#### 4.4.2 Impedansspektrometri

##### Resultat och diskussion

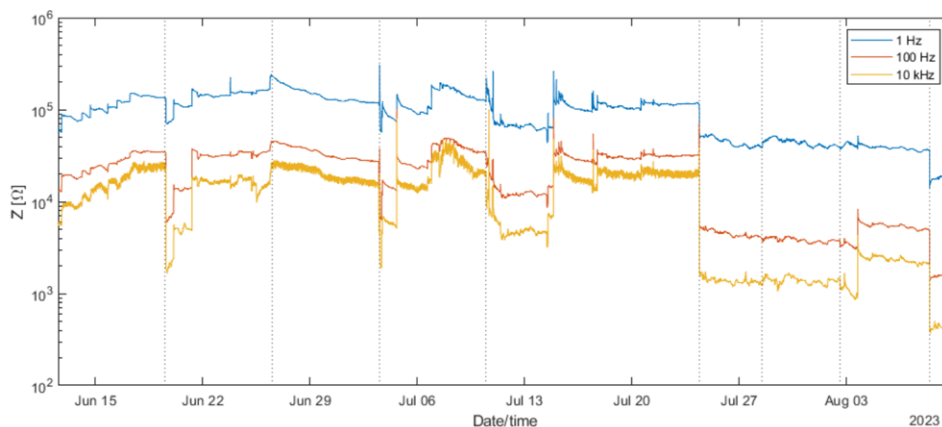
Några resultat att uppmärksamma i Figur 4.20:

- Medelamplituden i övre bilden i Figur 4.20 var i det närmaste en tiopotens högre än motsvarande värden i Borås medan värden för fasen var av samma storleksordning på båda ställen. Vi tror att detta beror på skillnader i sammansättningen mellan (svart) vattnet i Borås jämfört med det i Kiruna.
- Impedansvärden som funktion av tiden varierade betydligt kraftigare mellan sköljningarna i Kiruna än i Borås, både amplituden och fasen, tidförloppet var dock långsammare än i Borås. Till exempel, efter sköljningen den 26/6 tog det flera dygn för amplituden att minska (fasen att öka) mot ett värde som såg ut som ett jämviktsvärde; ett värde som respektive parameter hade mindre än 1 dygn efter mätningens start efter sköljning. Förloppet syns för alla frekvenser, men är tydligast för 1 Hz-excitationen (blå kurvor).

Även Nyquist-diagrammen efter de enskilda spolningarna (se Figur 4.21) indikerar att spillvatten i Kiruna ändras, åtminstone mellan de spolningar som visas i figuren.

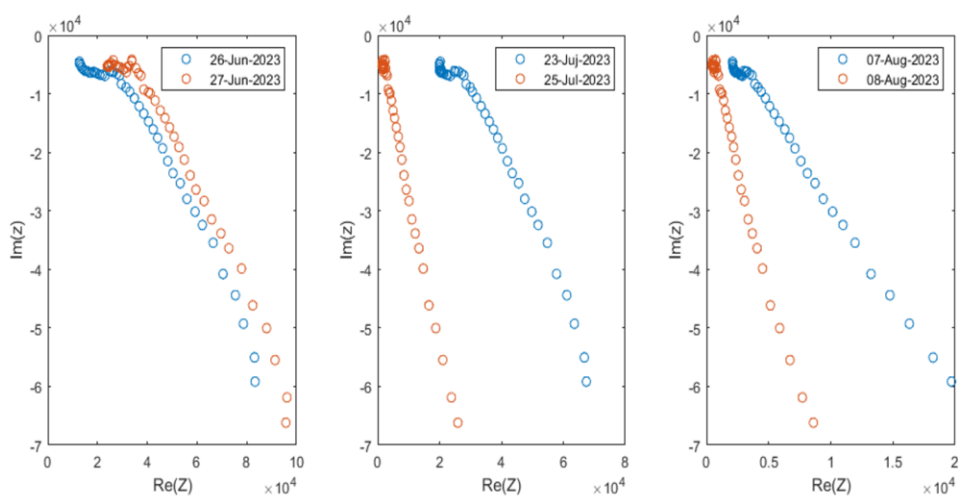
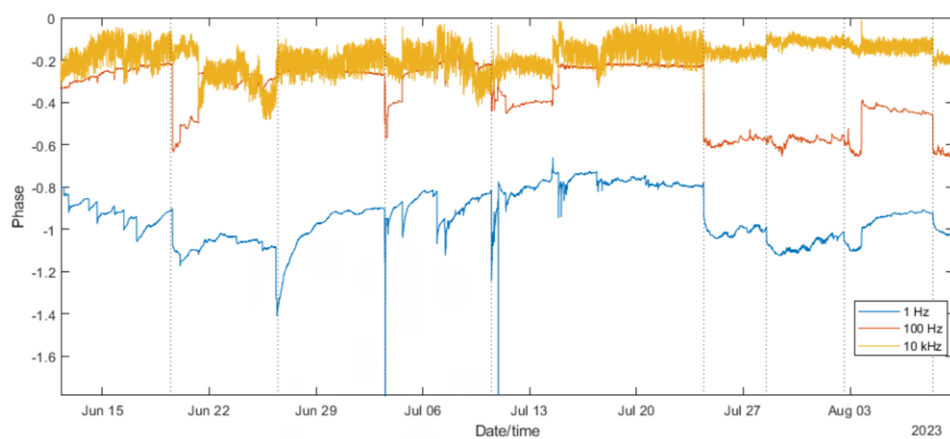
##### Slutsatser

- Det är viktigt att göra kalibreringar av impedansmätningarna med det vatten som ska bevakas.
- Det vore antagligen givande att utreda vilka huvudingredienser av vattnets sammansättning som bidrar till skillnaderna i Figur 4.21, och om deras källa (källor) samt om de är återkommande.



**Figur 4.20**

Impedansens amplitud (övre diagram) respektive fas (nedre diagram) vid tre olika frekvenser som funktion av tiden. De vertikala prickade linjerna markerar avspolningsdatum.



**Figur 4.21**

Nyquist-diagram (se avsnitt 3.2.2 och Figur 3.4) av försöksresultat från tre olika tillfällen strax före (blåa kurvor) respektive strax efter (röda kurvor) en enskild avspolning.



---

## 5 Slutsatser och nästa steg

Mätningarna på labb visade att båda sensorteknikerna kan känna av olja i spillvatten från Bälinge, även om RME-olja var svår att detektera med fluorescenssensorn. Detta beror på att den typen av oljor har en annan kemi och därmed inte fluorescerar som ”vanliga” petroleumbaserade oljor gör. Impedanssensorn, som känner av andra förändringar i vätskan, reagerade däremot även på tillsatser av RME-olja.

I testbädden i Bälinge testades flera olika koncentrationer av oljeblandningen i vatten med olika mycket spillvatten i med syfte att utvärdera om spillvattnet skulle störa detekteringen av olja och vilka koncentrationer olja som kunde detekteras. Det visade sig vid utvärderingen av mätdata att uppställningen med att blanda in spillvatten i dricksvatten krävde mer omrörningstid för att bli homogent. Detta innebar att impedanssensorns mätningar, som påverkas av alla inblandade ämnen i vätskan den mäter på, inte hann nå en stabil basnivå för det nyligen tillsatta spillvattnet innan nästa oljetillsats skedde. Resultatet blev därmed svårtolkat gällande vilken effekt på signalen som oljetillsatsen haft. Tack vare många mätningar och sammantaget med resultaten från laboriemätningarna kan man trots allt dra slutsatsen att båda sensorteknikerna kan detektera olja i spillvatten. Dessutom ”släckte” avfettningsmedel inte signalen från oljan i spillvattnet, vilket var ytterligare ett krav på önskat sensorsystem.

I fältmätningarna på pumpstationerna i Borås och Kiruna gick det att tydligt se vilken skillnad det blir på mätresultaten med olika typer av spillvatten. Förutom innehållet i spillvattnet skilde sig även hur ofta och mycket pumparna kördes i de två olika pumpstationerna. I pumpstationen i Borås gick pumparna mycket oftare än i Kirunas pumpstation, vilket troligen också påverkade mätningarna eftersom det gick att se att omrörning och strömningar i vattnet ibland gav effekter på mätningarna. Samtliga data kring exempelvis pumpars start- och stopptider var inte kända då mätdata tolkades, varför dessa effekter kan vara förklaringen till vissa förändringar i signalen som just nu anses ha okänd orsak.

Då spillvattnet i Borås pumpstation innehöll en större andel svartvatten än vattnet i Bälinge gav det ökade organiska innehållet en högre bakgrund vid mätningar med fluorescenssensorerna, vilket kan göra oljespill mindre tydligt då risken finns att mätningen blir mättad. Trots detta är bedömningen att ett oljespill som kräver stopp av pumparna skulle bli tillräckligt avvikande för att detekteras av dessa sensorer. För impedanssensorn gav det mer homogena spillvattnet i stället en stabil bakgrundsnivå där ett oljespill skulle bli mycket tydligt.

Kirunas industrispillvatten gav en väldigt låg bakgrundsnivå för fluorescenssensorerna på grund av den låga andelen organiskt material och ett oljespill skulle därför ge en väldigt tydlig signal. En begränsning med fluorescensstekniken är dock att oljor av RME-typ blir svåra att detektera givet resultaten från laborieexperimenten. Fluorescensstekniken skulle i en första approximation vara mest lämplig för denna typ av vatten. Impedanssensorn skulle troligen också kunna fungera, men då krävs lite mer avancerad dataanalys.

Då utveckling av automatisk rengöring inte ingick i projektet, men behovet av att hålla sensorerna så rena som möjligt var tydligt, sattes ett nät runt sensorplattformen för att skydda sensorerna från det största skräpet. Nackdelen med ett sådant nät är att det täpps igen av allt skräp och då krävs rengöring av nätet. Detta är därför inte något som lämpar sig som en permanent lösning.

I nästa steg bör sensorsystemets design förbättras så att det kräver mindre underhåll och inte är beroende av regelbundna avspolningar. Slutligen bör automatisk rengöring av sensorerna utvecklas, vilket troligen behöver vara en mekanisk rengöring för att få ordentligt rent.



---

Vid en vidare utveckling och optimering av sensorerna ingår även att utveckla larm och automatisk avstängning av pumparna vid larm. Vilken av sensorerna som man bör vidareutveckla och optimera beror bland annat på vilken typ av spillvatten man vill mäta på och vilken information man vill få ut av sina mätningar.

Den kommersiella fluorescenssensor som utvärderats i projektet fungerade minst lika bra som den egenutvecklade, men även om den säljs för ändamålet så krävs en del anpassning vad gäller placering och montering samt kunskap om vattentyp och vattenrörelser för att den ska kunna leverera tillförlitliga mätvärden.

Sensorerna bör även kunna fungera ute i ledningsnätet för att spåra utsläpp uppströms, men något som blivit tydligt i projektet är att det är viktigt att ha kunskap om vattnets "normala" karakteristik vid mätstället, vilken med all sannolikhet skiljer sig mellan olika mätställen. Inga av sensorerna som utvärderats i projektet har gett tydliga absolutvärden av oljeförekomsten, utan analysen behöver alltid relateras till en normalnivå som, även om den kan variera gradvis över säsongen, behöver vara någorlunda förutsägbar. Den teknik som undersökts har potential att resultera i billiga sensorer för enklare indikationer/alarm om avvikelser i vattenkarakteristiken och att en åtgärd kan behövas.

Projektet har lyckats visa att både fluorescenssensorerna och impedanssensor kan detektera olja i spillvatten och är värda att vidareutveckla för att kunna implementeras i pumpstationer och i förlängningen även i andra knutpunkter.

# Svenskt Vatten

UTVECKLING

Svenskt Vatten Utveckling  
Svenskt Vatten AB

POSTADRESS BOX 14057, 167 14 Bromma

BESÖKSADRESS Gustavslundsvägen 12, 167 51 Bromma

TELEFON 08-506 002 00

E-MAIL [svensktvatten@svensktvatten.se](mailto:svensktvatten@svensktvatten.se)

[www.svensktvatten.se](http://www.svensktvatten.se)