

Utveckling av nya digitala verktyg inom dricksvattensektorn: Optimerad rening, förbättrad fällning av NOM och trendanalys av cykliska processer

Stephan J. Köhler, Joel Wanemark, Hampus Markensten och Håkan Friden.

SLU, Vatten och miljö: Rapport 2021:4

Referera gärna till rapporten på följande sätt:

Stephan J. Köhler, Joel Wanemark, Hampus Markensten och Håkan Friden. (2021)

Utveckling av nya digitala verktyg inom dricksvattensektorn: Optimerad rening, förbättrad fällning av NOM och trendanalys av cykliska processer. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för vatten och miljö; Rapport 2021:4

**[Stephan Köhler och Hampus Markensten, Institutionen för vatten och miljö;
Joel Wanemark och Håkan Friden, IVL Svenska Miljöinstitutet Göteborg]**

Omslagsfoto: Resultat av automatiserad analys av prestanda av fällning och filtration med snabbsandfilter

Tryck: Uppsala

Tryckår: 2021

Kontakt

Stephan.kohler@slu.se

<http://www.slu.se/vatten-miljo>

Innehåll

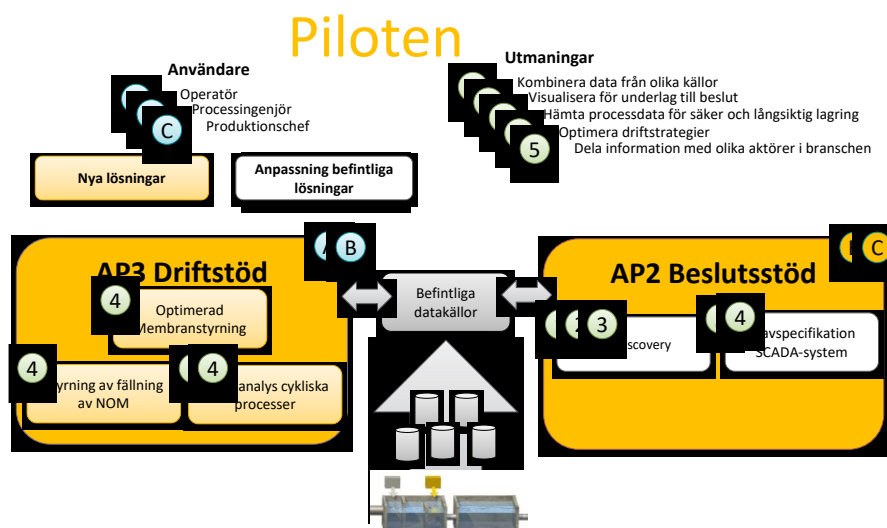
| | |
|--|----|
| 1. Introduktion och problemställning | 3 |
| Läsanvisning: | 4 |
| 2. Koppling till frågeställningar och övergripande effektmål | 5 |
| Övergripande effektmål | 5 |
| Specifika mål (SM) inom utveckling av nya digitala verktyg (AP3) | 6 |
| Optimering av fällning och sensorer | 9 |
| Fallstudie 1: Kärreberg | 10 |
| Fallstudie 2: Borås | 16 |
| Fallstudie 3: Norrvatten..... | 18 |
| Fallstudie 4: Trollhättan..... | 21 |
| Analys av cykliska processer i vattenverk | 23 |
| Fallstudie 5: Norrvatten Sandfilteranalys | 23 |
| Problemställning:..... | 23 |
| Tidiga varningssystem..... | 38 |
| Fallstudie 7: Göta älv (Trollhättan och Kungälv) EXO sensor | 38 |
| 4. Sammanfattning och framtida projekt | 42 |
| Appendix A..... | 46 |

1. Introduktion och problemställning

Dricksvattensektorn i Sverige står inför ett antal stora framtida utmaningar. Klimatförändringar som försämrar råvattenkvaliteten och städernas tillväxt hotar dricksvattenförsörjningen. Hoten kombinerat med nya mer krävande beredningsprocesser ställer krav på systematiskt arbete med att minska sårbarhet och risker i dricksvattensystemet vårt mest kritiska försörjningssystem. Snabbare förändringar i råvattenkvalitet över tid, större variationer i vattenförbrukningen samt en över lag högre vattenproduktion kan göra dricksvattenförsörjningen sårbart. Ovanstående utmaningar kräver snabbare ändringar i processen än tidigare samt en anpassning av hela produktionen. Vissa vattenverk ställer om sin produktion till nya processlösningar såsom membranteknik. Andra har börjat använda sig av sensorer för detektion av avvikelser i rå- eller processvatten. I båda fallen produceras mycket information och en snabb signalutvärdering är av ökad betydelse för beredningen.

I detta projekt ägnade vi oss åt att driva på digitaliseringen av vattenproduktionen genom att förbättra utbudet av digitala kommersiella produkter och tjänster med hög IT-säkerhet både för den svenska och både den internationella marknaden. Under projektets gång bidrog vi till att stödja ett antal VA-organisationer som nu använder nya innovativa system och metoder systematiskt för deras arbete med att analysera historiska data i kombination med realtidsdata. Systemen och metoderna säkerställer en säker leverans av dricksvatten.

Vi har flera digitala lösningar som är närmare marknadsintroduktion och kunskapen om möjligheter, risker och hinder med ökad digitalisering av vattenproduktionen har ökat i Sverige. Figuren nedan visar bidrag från arbetspaket 3 till hela projektet.



FIGUR 1: MÅLBILD FÖR ARBETSPAKET 2 (AP2) OCH ARBETSPAKET 3 (AP3) INOM PROJEKTET DIGIDRICK.

Arbetet inom AP3 rörde främst optimering ("optimerad membranstyrning", "styrning av fällning av NOM" i FIGUR 1) och databehandling med automatiserade skript ("trendanalys cykliska processer" i FIGUR 1) i Python som är ett fritt tillgängligt programmeringsspråk. Utöver det utvärderades användningen av olika typer av sensorer (utvärdera nya datakällor, optimering av signalutvärdering samt tidiga varningssystem i

FIGUR 2).

Läsanvisning:

Andra kapitlet "**Koppling till frågeställningar och övergripande effektmål**" ger en snabb syntes av vad vi har åstadkommit i projektet och fallstudierna. I detta kapitel summerar vi allt arbete runt projektets effektmål och hur vi anser att de olika delprojekten har bidragit att uppfylla projektmålen. Därefter följer kapitel "**Fallstudier**" som är uppdelat i olika delar. Kapitlen är uppbyggda enligt samma struktur som det inledande i att det finns en beskrivning av problemställningen, därefter följer en beskrivning av databehandling och metoder. Sedan belyses textdelar i kapitlen såsom implementering och lärdomar och förslag till framtida arbete. I vissa delar finns det Faktarutor som lyfter en speciell problematik eller gör en grafisk syntes av problemställningen. Det sista kapitlet "**Sammanfattning och framtida projekt**" summerar övergripande erfarenheter av arbetspaket 3 inom DigiDrick.

2. Koppling till frågeställningar och övergripande effektmål

Enligt ansökan fanns det fem övergripande mål och ett antal underordnade mål som var specifika för AP3 "utveckling av nya digitala verktyg". Nedan ges en mycket kort syntes av olika bidrag inom AP3 som bidrog till de övergripande effektmålen. De tolv mål som är specifika för AP3 listas nedan (SM1-SM12). Exempel om hur projektet bidrog att uppfyller refereras det till i kapitel 3 med ett nummer och en kod (t.ex. SM3 etc).

Övergripande effektmål

Mål 1: Medverkande dricksvattenverk bedömer att de har en **bättre förmåga** att använda **driftdata** för **långsiktig** utvärdering.

Ett stort antal mycket stora datafiler (> 300Mbyte) från driftdata eller sensordata från ett större antal vattenverk behandlats med specifikt framtagna skript och som nu är tillgängliga till alla vattenverk. Skripten kan lätt anpassas för specifika behov.

Under behandlingen har nya metoder tagits fram som har möjliggjort att ta fram nya parametrar för utvärdering. Parametrarna visar på den kvantitativa effekten av olika driftdata för produktionsmängder och färdig vattenkvalitet. Delar kan implementeras i bestående SCADA-system och ökar driftsäkerheten, andra kräver mer avancerade system.

Vårt arbete med dataserier har ökat medvetenheten av värdet av en kraftigt utökad analys av historiska tidsserier av driftdata.

Mål 2: **Flera** digitala lösningar har kommit närmare **marknadsintroduktion** tack vare projektet.

Ovanstående rutiner för databehandling har implementerats i ett beslutsstödsystem

Användningen av en ny multikanalsensor (Fluosens) har visat den stora potential som multiparameter-sensorer kan få i framtiden. Arbetet inom AP3 med redan kommersiellt tillgängliga sensorer (S:can och EXO) har bidragit till att lyfta värdet av tillgång till sensorer.

Mål 3: **Kunskapen** om möjligheter, risker och hinder med ökad digitalisering av vattenproduktionen har **ökat i Sverige**, inklusive kunskap om **informationssäkerhet** och informationsdelning.

Behandling av data inom AP3 var delvis av känslig karaktär och därför är mål 3 inte relevant.

Mål 4: Projektet har gett en **ökad förståelse** för **kundernas** behov, både **tekniskt** och **organisatoriskt**.

Sammanställning, bearbetning av data och all informationsarbete kring detta i form av diskussioner, seminarier och workshops har bidragit till att klargöra ovanstående behov. Behoven styrs främst av önskemål om ökad säkerhet och robusthet i beredningen samt möjlig tidsvinst i det dagliga arbetet. Därmed styrs hur tidsåtgången och investering i ny kunskap och teknik prioriteras.

Mål 5: Projektet har lyckats involvera **kvinnliga** driftingenjörer **och** utvecklingsingenjörer från **andra** vattenverk.

Under arbetet i AP3 har fyra olika kvinnliga driftingenjörer från fyra olika vattenverk involverats i arbetet med de nya digitala verktygen.

Specifika mål (SM) inom utveckling av nya digitala verktyg (AP3)

Ø Drifts- och beslutsstöd ska ge helt nya möjligheter att optimera produktionen med avseende på kvalitet, miljömål och produktionsvolym (SM1).

Ø Vattenverken kan reagera snabbare på kortsiktiga störningar och långsiktiga förändringar (SM2).

Ø Ta fram kravspecifikationer för beslutsstödsystem som aggregerar information från flera datakällor (SM3).

Ø VA-organisationer ska använda innovativa system och metoder och systematiskt arbeta med att analysera historiska data i kombination med realtidsdata (SM4).

Ø Implementering av nya digitala drifts- och beslutsstöd (SM5) baserat på avancerade analyser av historisk och realtidsdata som ger vattenverket möjlighet att öka automationsgraden och fatta genomtänkta beslut.

Ø Förbättrad avskiljning av olika fraktioner av naturligt organiskt material (NOM):

Validering av algoritmer för fällning (SM6) genom kemisk karakterisering av processvatten före och efter fällning, urval och test av olika sensorer (SM7) för bestämning av fällbar mängd humus och turbiditet i rå- och processvatten (SM8), matematiska verktyg (SM9) för granskning och utvärdering av högupplösta dataserier (SM10) som ingår i dosmodellen (SM11), Bedömning av fällningseffektivitet i realtid samt framtagandet av målområden för fällning (SM12).

Nedan redovisas vilka SM som har uppfyllts hos olika aktörer inom projektet i form av en tabell.

Tabell 1: Översikt av specifika delmål (SM) som har uppnåtts under projektet uppdelad på deltagande organisation (VIVAB= Vivab AB , NV = Norrvatten, TE = Trollhättan energi, BEOM = Borås energi och miljö).

| SM | | Kort beskrivning |
|------|---------------------|---|
| SM1 | NV, TE | Automatiserad analys, förbättrad dosmodell i kombination med barriärverktyg kan i framtiden användas för att optimera processen mot hållbarhet (mindre kemikalier) samt motverka klimatdrivna variationer i råvatten. |
| SM2 | TE | Tidiga varningssystem av förändringar i råvatten utvärderades. |
| SM3 | TE | Inspel av WP3 till pilot ha lyft helhetsaspekter. |
| SM4 | VIVAB, NV, TE, BEOM | Stora mängder av driftdata och från olika sensorer kan nu kopplas, bearbetas och analyseras automatiskt. Detta kan ge en bättre helhetssyn av processen. |
| SM5 | TE | Online pilot för bedömning av barriärer, kapacitet och HAACP gör det i framtiden möjligt att optimera enstaka processer så som fällning utan att riskerar försämrade vattenkvalitet. |
| SM6 | TE, NV | Internetbaserad implementering av dosmodell samt ny vattenkvalitetsbaserad dosmodell togs fram. |
| SM7 | VIVAB, NV | Fördelar och nackdelar spectro::lyser och Fluosens multiparametersond utvärderades. |
| SM8 | VIVAB, NV | Ny dosmodell skiljer åt pH och NOM beroende ALG dos. Fluosens mäta humusämnen direkt och bör kunna styra. |
| SM9 | VIVAB, TE, NV, BEOM | Automatiserad analys av långa dataserier från driften, outlier behandling, automatiserad statistisk analys (trend, percentil) |
| SM10 | NV | Analys av historiska data från sandfilter och sensorer gav en bättre bild av nuvarande process samt dess begränsningar. |
| SM11 | TE, NV | Uppdaterad dosmodell |
| SM12 | VIVAB, NV | NOM dosering via sensorer utvärderades och förbättrades där det var möjligt. |

3. Fallstudier

Optimering av fällning och sensorer

I de flesta projekt användes olika typer av sensorer som verktyg för att skatta snabba förändringar av vattenkvalitet antingen i råvatten eller processvatten. Signaler från dessa sensorer används för att anpassa process steg efter de kraven som gäller för utgående vatten. I denna studie användes tre olika typer av sensorer. Ett instrument är baserad på absorbans mätningar (S::can, spectro::lyser¹) och två på fluorescens (EXO2² och Fluosens³). Det sistnämnda instrumentet är inte kommersialiserat än (Wagner et al 2016) och beskrivs därför i större detalj. Mera information om EXO2 kan hittas även i denna svenska rapport (Köhler et al 2019). Både spectro::lyser och EXO2 har använts av Hoffmeister et al (2020). Där beskrivs och ekvationerna som används för att korrigera temperatur, absorbans och partikelhalteffekter.

Sensorer

S::can I::scan

EXO2

Fluosens



FIGUR 2: ÖVERSIKT AV DE TRE TYPER AV OPTISKA SENSORER SOM KOM TILL ANVÄNDNING I PROJEKTET (S::CAN = SPECTRO::LYSER TILL VÄNSTER), EXO2 (I MITTEN) OCH FLUOSENS (TILL HÖGER).

Sensorerna kan mäta signaler direkt så som är fallet för EXO2 där parametrar som pH, temperatur, ledningsförmåga, syrgashalt, klorofyllhalt, halt blågrönalger, redox och halt fluorescerande organiskt material. Resultat från spektralmätningar (dvs data över ett helt spektra

¹ <https://www.s-can.at/spectrolyserv3>

² <https://www.yei.com/exo2>

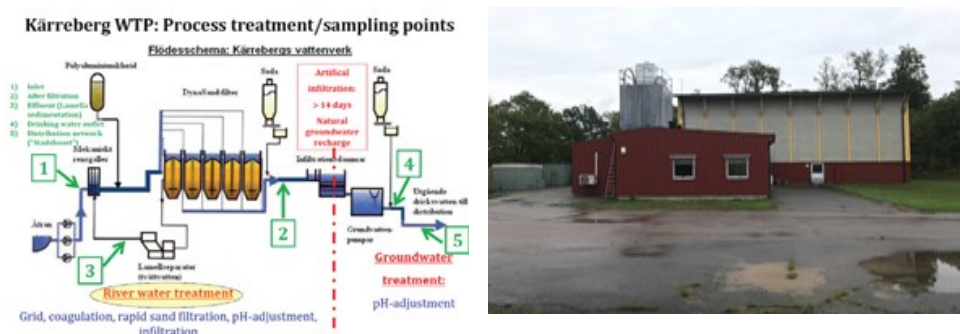
³ Liknande denna <https://www.bbe-moldaenke.de/en/products/chlorophyll/details/algaonlineanalyser.html>

från låga till höga våglängder) från antingen absorptions eller fluorescens kan användas för att kalibrera mot parameter så som turbiditet, halten organiskt kol eller även mera avancerade parameter så som klorofyll. Detta gör alla tre typer av instrument mycket användbara för vattenverk.

Fallstudie 1: Kärreberg

Problemställning i Kärreberg

Vatten från floden Ätran behandlas med koagulering med den kontinuerliga processen Dynasand ©. Ett detaljerat process schema visas nedan (Figur 1). Flodvatten pumpas och separeras från större partiklar genom ett mekaniskt filter. Dosering av ett aluminiumbaserat koagulationsmedel (Ecoflock 91) doseras vid rådande nästan neutralt pH före en passage i ett Dynasand-filter med doser av cirka 0,4 mg Al/mg TOC (Totalt organiskt kol). Dosering baseras på tidigare erfarenheter av förändringar i TOC vid högt flöde, externa laboratedata om färg och kontinuerliga pH-mätningar efter Dynasand filterprocessen. Doseringen reduceras under den optimala dosen när en risk uppstår att pH i det flockade vattnet är så lågt att upplöst Al inträffar över skriden värden över 0,2 mg L⁻¹. Detta har inträffat vid ett par tillfällen tidigare och kan försämra den efterföljande infiltrationsprocessen. Därefter är halten organiskt kol (DOC = löst organiskt kol mellan 1-3 mg L⁻¹) och vattnet infiltreras i ett lokalt grundvattenfält. Både utspädning och nedbrytning leda till att halten DOC under 1.5 mg L⁻¹ efter cirka två veckors passage i marken.



FIGUR 3 : FLÖDESSCHEMA AV VATTEN I KÄRREBERG (TILL VÄNSTER) OCH BILD AV ANLÄGGNINGEN UTIFRÅN (TILL HÖGER).

Vattenverket i Kärreberg är inte anpassad för de stora förändringar i vattenkvalitet över tid vilket leder till en suboptimal vattenkvalitet under delar av året och till förhållanden som möjligen kan försämra den efterföljande naturliga efterbehandlingen vid markpassage. Vilka digitala verktyg kan åtgärda detta? Optimering av doseringen förutsätter att det finns tillgång till sensorer. Fluosens som beskrivs nedan är en multikanal och multiparameter system som kan ta in signaler från olika platser på verket och behandla all data på samma sätt. Denna utrustning testades i Kärreberg.

Beskrivning av Fluosens instrumentet

FluoSens är en kombinerad multi-fotometer med absorptions / fluorescens. Utrustad med en flödescell och ett inlopp och utlopp, gör det möjligt att kontinuerligt mäta vattenkvaliteten i en flödescell. Vattnet exciteras med ljus med definierade våglängder (LED med 245, 255, 280, 315, 430, 505, 610 och 700 nm). Fluorescerande ämnen (fluoroforer) som finns i vattnet exciteras. Det utsända ljuset detekteras av fyra fotodioder vid våglängderna 328, 429, 511 och 700 nm. Baserad på de resulterande excitation/emission våglängd-par kan en så kallad Excitation-Emission-Matrix (EEM) genereras. EEM-tekniken har använts i laboratoriet för analys av miljöprover sedan 1980-talet. Enheten var främst utformad för tillämpning av övervakning av ytvatten och behandling av ytvatten. Både innehåll av TOC och kompositionen med avseende på "humussyra" och "fulvosyra" kan erhållas. Utöver det beräknas klorofyllhalt och proteiner. Både mikroorganismer / bakterier såväl som alger uppvisar naturlig fluorescens, som används för en grov uppskattning av det totala cellantalet. Dessa data jämförs sedan med data från flödescytometri. Instrumentet är utrustat med en multikanalsenhet (MCU), som möjliggör övervakning av tre provplatser med bara en sensor. I denna fallstudie installerades fluosens för att mäta förändringar i inkommande råvatten (RAW), Post koagulering efter dynasand (SF) och av tvättvattnet från dynasand-reaktorerna (WASH).

TABELL 2

| Kalibreringssubstans | Koncentrationsområdet | Kommentar Humic Substances (HS) |
|----------------------------|--|------------------------------------|
| Pony Lake Fulvic Acid | 0.5 – 5 mg/L C | HS standard of IHSS |
| Suwanne River Humic Acid | 0.5 – 5 mg/L C | HS standard of IHSS |
| Suwannee River Fulvic Acid | 0.5 – 5 mg/L C | HS standard of IHSS |
| Formazine | 0.5 – 10 FNU | Turbiditet |
| Serratia fonticola | 1.5×10^5 – 1×10^8 TCC/mL | Coliform bakterier |
| Microcystis aeruginosa | 5 – 50 µg/L Chl | Cyanobakterier |
| Chlorella vulgaris | 5 – 50 µg/L Chl | Grönalger |
| Cyclotella meneghiniana | 5 – 50 µg/L Chl | Diatomeer |

Under en kortare period användes även ett S:can instrument som installerades vid intaget. Andra resultat som finns tillgängligt är vattenkemidata från SLUs miljöövervakning av Ätran, samt prover som tas regelbundet på verket.

Databehandling

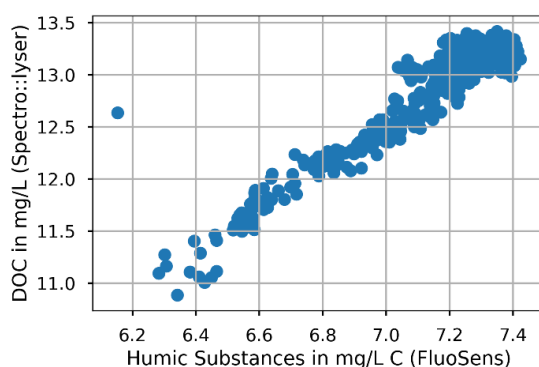
Data som togs upp av fluosens behandlas intern i Fluosens instrumentet.

Både rå- och behandlad data finns tillgängligt sparad på en internhårddisk. Instrumentet kopplades till ett Modem vilket gjorde det möjligt att följa resultat online.

Implementering

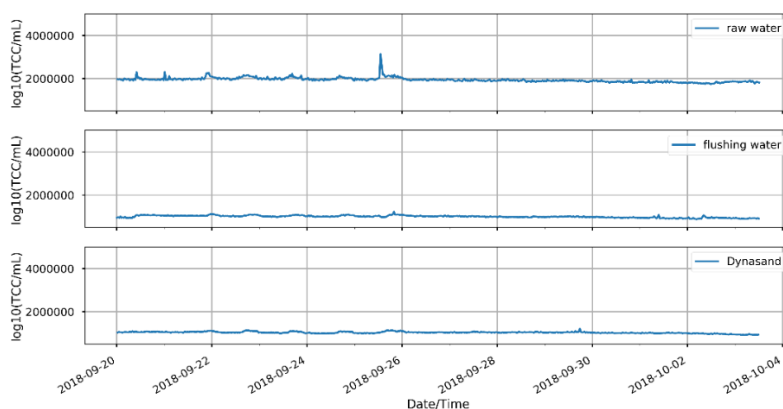
Nedan redovisas ett antal jämförelse och signaler över tid som lyfta vilka parameter som kan erhållas.

Nedan jämförs signalerna för olika typer av halten organiskt kol som tas upp från spectro::lyer och fluosens. Ett mycket bra samband med hög precision ($< 1 \text{ mg L}^{-1}$) erhålls, de systematiska skillnaderna kan förklaras med att båda instrument inte bestämmer samma typ av organiskt kol.



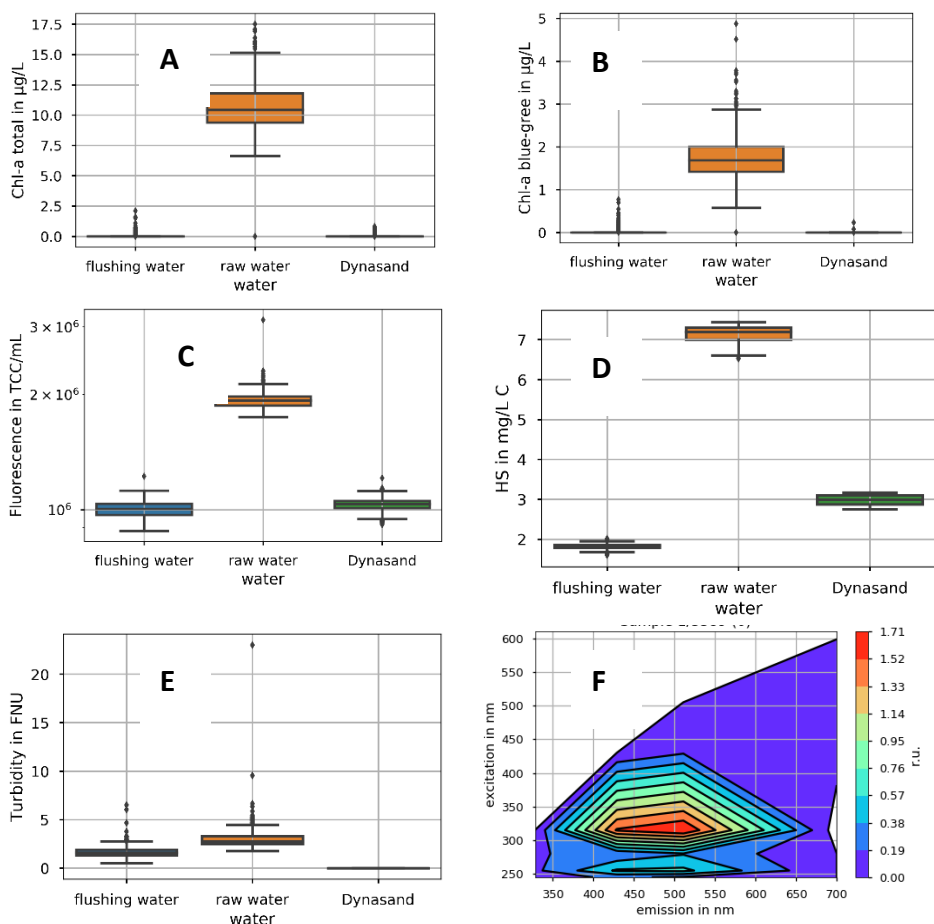
Figur 4: Jämförelse mellan skattad halt (mg/l) av huminsyror (Humic Substances) via Fluosens och beräknad halt DOC (mg/l) via spectro::lyser som är en optisk absorbans sensor. DOC består av en stor andel andra ämnen som inte är huminsyror vilket förklarar den systematiska skillnaden.

En mycket viktig parameter som togs upp är halten bakterier i de tre typer av vatten som togs upp är halten bakterier. Under beredningen ska en bestämd avskiljning av bakterier ske över fällningssteget (Dynasand). Vid höga halter bakterier i råvatten bör fällningssystemet anpassas. Tidsserien signalerar att de höga toppen av bakterier som förekom kunde Dynasand fällningssystemet tar hand om.



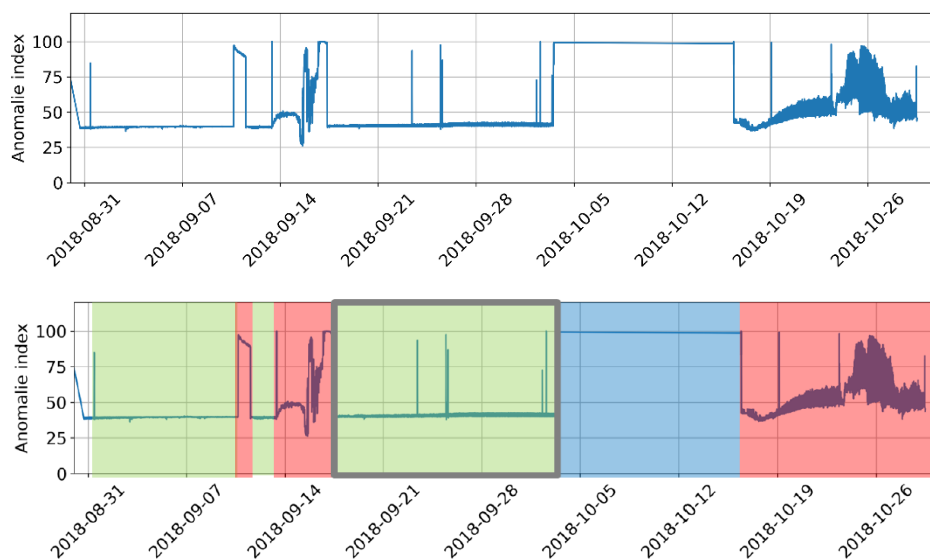
Figur 5: Tidsserie av antal celler beräknad via fluosens i i de tre provtagningsställen som ingick i studien (tvättvatten = flushing water; råvatten = raw water och efter dynasandfilter).

Andra skillnader i vattenkvalitet av de tre vattentyper visas nedan. Alla signaler är kalibrerade som beskrevs ovan men har räknats fram baserat på fluorescensspektra som visas i (F). Här vill vi lyfta de kvantifierade skillnader på halten klorofyll, halten klorofyll som kopplas till blå-grönalger och huminsubstanser. Tillgång till dessa signaler skulle det göra möjligt att optimera processen med avseende på ett antal parameter istället för bara färg eller bara partikelhalt (turbiditet).



Figur 6: Exempel av fem olika online signaler som beräknas via fluosens i de tre provtagningsställen som ingick i studien (tvättvatten = flushing water; råvatten = raw water och efter dynasandfilter = Dynasand: Klorofyllhalt [A], klorofyllhalt som kopplas till blå-grönalger [B], totalantal celler (Flouescens in TCC [C]), halten huminsyror (HS [D]), turbiditet (turbidity [E]) och ett exempel av ett flouescensspektrum som används för att beräkna faktorena A-E [F].

Till sist vill vi nämna att instrumentet har en egen inbyggd algoritm som kan användas för att skatta hur säkert de predikerande parametrar är. Avvikelse över en längre period indikerar möjligen behov av underhåll av instrumentet.



Figur 7: Tidsserie av den beräknade avvikelse av anpassning som är en indikation av anomalier på en skala av 0-100 av rådata (ovan) och med färg markerade områden med data av hög trovärdighet (grön), mycket låg trovärdighet (röd) och perioden där instrument var avstängd (blå) i figuren nedan.

Instrumentet har tyvärr inte fungerat helt utan utmaningar. Under signifikanta perioder (se röda perioder i figuren ovan) har flödescellen haft utmaningar med hög partikelhalt och utmaningar med fuktighet som spillde över från mätcellen till andra delar av instrumentet.

Lärdomar och förslag till framtida arbete

Fluosens ger en ideal kombination av online mätning av ett antal kritiska vattenkvalitetsparameter. Vattenverken skulle kunna få helt nya möjligheter för online mätningar baserad på bara ett enda multikanalinstrument. Datahanteringen, kalibreringen och uppkopplingen mot nätet var tillförlitliga och bör kunna implementeras i bestående SCADA. Instrumentet har dock visat sig inte kunna fungera utan drift längre än 10 dagar i rad. Utmaningar kopplat till vatten med hög partikelhalt och varierande fuktighet som stör instrumentet måste åtgärdas innan det kan användas i det dagliga arbetet på vattenverk.

Arbetet har bidragit till övergripande mål 1, 2, 4 och 5 och följande specifika mål 4,7, 8, 9 and 12.

Fallstudie 2: Borås

Problemställning:

Sjöbo vattenverk har under projektet utvärderat en pilotanläggning för ultrafilter-membran för att utöka barriärhöjden med avseende på virus och bakterier, som stöd och beslutsunderlag för en eventuell framtida investering i en fullskalig membranläggning. Piloten utvärderade filter från två olika membrantillverkare med avseende på prestanda. Utvärderingen gav lärdomar både ur tekniska och organisatoriska perspektiv.

Implementering:

Under pilotförsöken kördes filtren på konstant flux med backspolningar och syra tvättar utifrån filterleverantörens anvisningar. Den planerade tidsplanen att köra piloten under 1 år fick förlängas på grund av felinstallation av det ena filtret.

Databehandling:

Datan från pilotanläggningen utvärderades på plats av processingenjörer och operatörer. Pilotförsöken visade på att förfiltren till piloten blev kraftigt nedsmutsade trots att piloten är installerad efter kolfiltren. Försöken visade dock också på att den fouling som uppstod kan tvättas bort med backspolning och syra tvättar och att det således inte bildas någon irreversibel fouling med råvatten från Öresjö vid vald placering av UF-filter i anläggningen. Provtagningsanalyserna visade ofta långsamväxande bakterier i filtratet, men detta har inte fullt utretts varför.

Lärdomar:

Syftet med inköpet av partikelräknare borde ha fastställts mer tydligt gällande hur denna skulle användas i utvärdering av reningseffekten hos filtren. Möjligheten att ta ut värden från partikelmätaren under försöksperioden, för att t ex utläsa årstidsvariationer borde nyttjats, då dessa underlag skulle ha kunnat användas som ett ytterligare underlag för utvärdering under och efter pilotanläggningens försökstid. Genom att regelbundet gå igenom partikelstorlekar som filtren släpper igenom, så hade kanske data kunnat kopplas till olika händelser vid verket, inkommande vatten till filtren eller integriteten hos filtren.

Ett Siemenssystem installerades som styrsystem, vilket inte underhållsavdelningen var insatt i. Verket fick under försöksperioden problem med styrningen av en magnetventil och hade då väldigt svårt att få hjälp från underhåll kring detta och de i sin tur fick vända sig till leverantören av filterpiloten, vilket gjorde att felet kvarstod längre än vad det hade gjort om organisationen haft kompetensen på plats. Kanske borde leverantören redan då filtren köptes ha tagit hit haft en genomgång och överlämning av styrsystemet till underhållsavdelningen.

Det blev mer avancerat att köra piloten än vad verket var förberedda på, och processen hade behövt gå igenom mer noggrant inför installationen, tex var flödet skulle tas ut, vilka ventiler som ska styras och hur, vilka kemikalier som skulle användas, koncentration, material på ledningar osv.

Det skulle kunna visa sig att polymera filter jämfört med keramiska är ett mycket gott alternativ för vattenverk om man genom upphandlingsförfarandet skapar ett intresse hos filterleverantören att driftoptimera. Ett pilotförsök med ett keramiskt filter behöver utföras för att stödja ovanstående tes.

Arbetet med piloten har varit mer tidskrävande än vad som initialt uppskattades, vilket är en värdefull lärdom till framtida pilotförsök. På labbet har provtagning och analyser tagit ungefär 8 h/vecka och till det kommer tiden att sätta upp analysen. Kontrollrummet har gjort avläsning, övervakning samt journalskrivning ca 1 h/vecka. Den uppskattade tiden för drift har i genomsnitt varit 4-5 h/vecka, inkluderat den tid det tagit vid uppstart och problemlösning.

Förslag till framtida arbete:

Pilotförsöken har resulterat i flertalet frågor som är intressanta att arbeta vidare med, men som ej har kunnat besvaras inom ramen för projektet. Exempelvis:

- Om filtren hade styrts med konstant flux och utifrån TMP, hade verket kunnat identifiera en bild över den optimala tiden mellan backspolningar och syra tvättar?
- Skulle syra tvättarna kunna glesas ut och installationskostnaden minska genom att kemikalietanken dimensioneras utifrån optimal kemikalieförbrukning?

- Kan installationskostnaden av filter minskas genom driftoptimering pga. färre backspolningar samt syra tvättar, vilket innebär att drifttiden på filtren ökar?
- Vilken inverkan på försöken kan det faktum att verket använder för mycket fällningsmedel? Om man har för avsikt att minska åtgången av fällningskemikalier då UF-filter installerats, kan det då påverka ultrafiltrets funktion?
- Har vi sämre flockbildning vintertid? Om så är fallet har trycket genom filtren byggts snabbare vintertid?
- Vad har vi kvar i vattnet efter kolfiltret? Vad är det som färgar förfiltret?
- Renas metallkomplex bort i kolfiltren, avskiljs dessa främst genom sedimentering eller fastnar de i förfiltret till UF-filtret (20 nm porer)?
- Vad är det som gör att filtren inte får någon irreversibel fouling?
- Kan UF-filtren ersätta kolfilter? Dvs finns det något värde i att testköra filtren före kolfilter och se vad som krävs för denna drift (bör i så fall utföras sist i försöken i den händelse att irreversibel fouling skulle uppstå). Man skulle i så fall i förväg behöva utreda förändrat kemikaliebehov med konsekvenser samt ev andra förväntade förändrade betingelser vid drift.

Arbetet har bidragit till övergripande mål 3, 4, 5 och specifika mål (SM) (4 och 9).

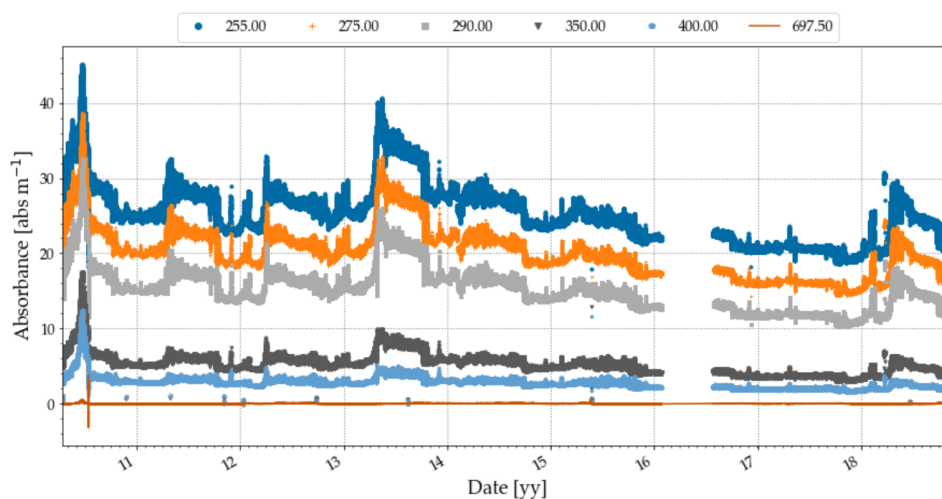
Fallstudie 3: Norrvatten

Problemställning:

Historiskt (sent 90-talet och innan) har doseringen av fällningskemikalier skett manuellt av operatörerna på vattenverken. Dosen har då justerats i efterhand baserat på labb analyser av utgående vattnet. Därefter har dosen styrs av ledningsförmåga, fällnings-pH och färg i utgående vatten. Arbetet med smart styrning av fällningskemikaliedosering för dricksvattenrening kom igång 2010 då Norrvatten installerade spectro::lyser vid råvattenintaget och efter sandfilter. Ett fördjupningsprojekt påbörjades i samarbete med IVL under 2014 hos Norrvatten. Den nuvarande styrmodellen är empirisk och använder inkommande vattnets pH, konduktivitet (som har störst betydelse), UV254, Färg, TOC och COD för att prediktera behovet av fällningskemikalier vid varje tidpunkt. De fyra sistnämnda faktorer

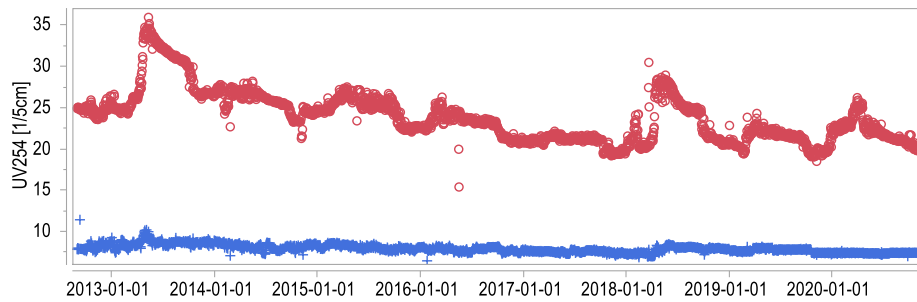
beräknas via spektraldata av en optisk sensor (spectro::lyser). För att ytterligare justera dosen finns också en långsam återkoppling från utgående UV254 avvikelse från sitt börvärde. Styrning av fällningskemikalier har därefter införts hos Sydvatten, Trollhättan och Växjö. Nu tillkommer också Sandviken.

Varje vattenverk har sin egen modell, baserad på deras inkommande vatten och modellerna är specifika för olika vattenverk. En del av fällningskemikalie inaktiveras av ogynnsam alkalinitet och pH. Baserad på redan existerande dosmodeller borde det gå att beräkna denna andel. Den stora mängden spektralinformation som mätts via optiska sensorer online används inte i dagsläge.



FIGUR 8: TIDSSERIER AV ABSORBANS FÖR OLIKA VÅGLÄNGDER ($\lambda = 255, 275, 290, 350, 400$ OCH 698) SOM ETT EXEMPEL PÅ DE 350 OLIKA VÅGLÄNGDER SOM ÄT TILLGÄNGLIGA VIA SPECTRO::LYSER.

Pga. av den stora mängden data kan dagens SCADA system inte hantera all information. I ett förändrat klimat finns det risk att variationer i kvalitet i råvatten (t.e.x temperatur, partikelhalt, ledningsförmåga och vattenfärg) kommer att vara större under året och därmed. Om modeller måste anpassas i efterhand kan detta vara kostsam. Dessutom kan olika modeller inte överföras från ett till ett annat vattenverk och därmed förloras en källa till möjlig kunskapsöverföring och information om möjliga begränsningar av olika metodansatser. Nedan visas absorbans signalen för spectro::lyser för $\lambda = 255\text{nm}$ från intaget och efter sandfilter för Görvålverket.



FIGUR 9: TIDSSERIE AV UV SIGNALEN I RÅVATTEN (●) OCH EFTER SANDFILTER (●).

Inom ramen för DigiDrick

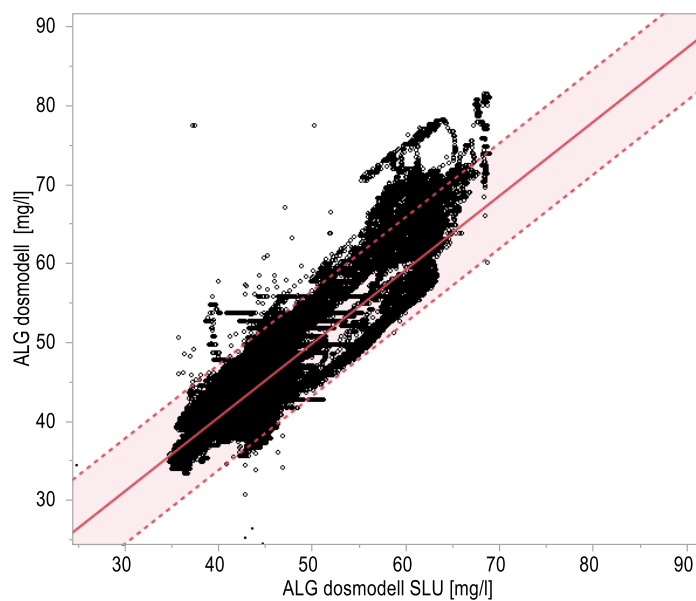
a) utvecklades en mer generisk, teoretiskt baserad modell för styrningen, baserad på inkommande alkalinitet och vattenanalyser för vattenverket Görvåln, b) analyserades den spektrala data från två optiska sensorer vid intaget.

Databehandling:

Data från SCADA systemet leverades via Norrvatten. Spektraldatan lästes in via textfiler från sensorn och som kopplades ihop med python script.

Implementering:

Pythonskripten för automatisk inläsning av absorbansdata är nu tillgänglig för Norrvatten. Den nya enklare dosmodellen är nu tillgänglig.



FIGUR 10: JÄMFÖRELSE MELLAN DEN NYA FÖRENKLADE DOSMODELLEN OCH DEN SOM TAGITS FRAM TIDIGARE. $ALG \text{ DOSMODELL [MG L}^{-1}] = 3,25 + 0,935 * ALG \text{ DOSMODELL (SLU)}$; MEDELFEL I PREDIKTIONEN ÄR 3.3 MG L⁻¹.

Lärdomar och förslag till framtida arbete

Analysen visar att dosmodellen kunde anpassas ytterligare utan den förlorade sin förmåga att prediktera den optimala dosen. Den nya dosmodellen kan urskilja effekter som enbart beror på förändringar av TOC och sådana som beror enbart på förändringar av alkalinitet. Detta möjliggör att skatta vilken mängd fällningskemikalie som skulle kunna ersättas av tillsats med svavelsyra. Detta skulle möjliggöra att minska slammängden samt borde till viss mån kunna öka filtertider av sandfilter. Den förenklade modellen är ett steg mot mera kemiskt baserad fällningsmodeller vilka borde kunna användas även på andra vattenverk.

Arbetet har bidragit till övergripande mål 1 och 4 och specifika mål (SM) (2,4,6, 8-12).

Fallstudie 4: Trollhättan

Problemställning:

Idag finns statistiska modeller framtagna av IVL för automatisk beräkning av dosering av kemikalier (även kallad Dosmodellen) i drift vid flertalet vattenverk i Sverige. Dessa modeller är i dagsläget inte kontinuerligt kvalitetssäkrade, de är unika för varje vattenverk, och de är hårdkodade in i SCADA-systemet. Detta innebär en risk för vattenverken att inte kunna säkerställa kvaliteten på sin beredningsprocess och det är ett hinder för fortsatt optimering av processen om det är en extern aktör som utför det arbetet och som därmed inte har tillgång till bakomliggande information om framtagandet av modellen. För att lösa dessa utmaningar valde vi att generalisera möjligheterna för hur modeller tillämpas i processen och även skapa ett sätt att följa upp kvaliteten på modellerna.

Databehandling:

Historisk data från Överby Vattenverk i Trollhättan har använts för att skapa modeller (baserat på Partial Least Squares, PLS) för beräkning av

dosering av kemikalier. Modellerna skapas genom att försöka efterlikna den historiska doseringen utgående ifrån kvalitets parametrar på ingående vatten.

Implementering:

PLS-modellen skapas med hjälp av Python och sparas ner till en fil. Filen innehåller förutom modellens statistiska parametrar även ett kvalitetsmått på modellens prediktionsförmåga. En generell så kallad web-service, vilket är ett program som kan köras på vilken dator som helst, har skapats och denna läser vid anrop in modell-filen och kan beräkna och returnera dosering och DModX (Distance to Model X) i realtid. Anropet kan ske av exempelvis ett SCADA-system eller ett övergripande beslutsstödssystem. DModX är ett kvalitetsmått som indikerar hur tillförlitlig modellen är utifrån dess ingående parametrar. Är DModX högt indikerar detta att de ingående parametrarna (råvattenkvaliteten) avviker från historisk data och att modellen därför har begränsad giltighet. På detta sätt kan modellfiler lätt bytas ut utan att behöva programmera om SCADA-systemet och man kan följa hur modellens tillförlitlighet (DModX) förändras över tid, vilket förhoppningsvis bidrar till att beredningen kan optimeras över tid. Källkoden är öppet tillgänglig via IVL:s Github:<https://github.com/IVL-Research/DigiDrick>

Lärdomar och förslag till framtida arbete:

Arbetet har visat på möjligheten att på ett mer generaliserat sätt implementera och leverera doseringsmodeller med goda resultat. Arbets sättet möjliggör ett snabbt testande av olika typer av modeller och kontinuerlig uppföljning av modellprestandan. Genom att spara modellerna i filer möjliggörs också en bättre hantering av metainformation kring modellen, vilket exempelvis kan vara tillkomstdatum, vilket tidsintervall av historiska data som använts för att skapa modellen, eller annan information som då kan följa med i samma fil som själva modellen. För att underhålla detta krävs dock ett kontinuerligt arbete, och att arbeta med open source-verktyg som Python har både för- och nackdelar. Fördelarna är att de verktyg som skapas är möjliga för andra vattenverk att använda och inte skapar onödiga inlåsnings effekter. Nackdelen är dock att det kräver ett större underhåll av systemet i form av versionshantering.

I framtiden ser vi att den här typen av sätt att implementera modeller och verktyg möjliggör att i större utsträckning kunna utbyta modeller och sprida *best practise* inom branschen.

Arbetet har bidragit till övergripande mål 1, 4, 5 och specifika mål (SM) (2,4,5, 9-11).

Analys av cykliska processer i vattenverk

Fallstudie 5: Norrvatten Sandfilteranalys

Problemställning:

Sandfilter har sedan 1890 använts för att filtrera bort partiklar ur vattnet så att bland annat associerade sjukdomsframkallande bakterier och parasiter hindras att följa med vattnet som levereras till konsumenter. Filtren mättas med partiklar efter ett antal timmar och behöver därför regenereras genom backspolning där partiklarna spolats bort. Under perioder med hög produktion eller perioder med svår fällbart vatten och/eller snabbt ökande produktion kan det uppstå situationer där det bildas en spolkö. Driften måste prioritera specifika filter enbart baserat på deras tidigare erfarenhet, dvs uppbyggnad av tryck, gångtid och turbiditet, men utan att direkt och på ett säkert sätt kunna prediktera hur spolningen kommer att påverka produktionen. Bättre kunskap om hur olika filter ska prioriteras vid olika situationer kan ge större säkerhet i drift av verket. Frågor som är relevanta är:

- a) Vilka filter brukar kunna driftas längre?
- b) Vilka signaler för tidigt genombrott i filtren finns det?
- c) Vilka faktorer i råvattenkvalitet har störst påverkan på filtertiden?
- d) Hur påverka fällning och snabba ändringar i belastningen olika filter?
- e) Kan en utvärdering av långa historiska tidsserier användas för att ge svar på ovanstående frågor?

För att effektivt kunna övervaka vattnets kvalité används turbiditet som ett mått på hur mycket partiklar som finns i det filtrerade vattnet. Både tryck, flöde och turbiditet mäts kontinuerligt sedan lång tid vid vattenverket och används främst för att i realtid övervaka och styra

processer i vattenverket så att höga nivåer av turbiditet kan förhindras. Filterspolning kan automatiseras men måste kontrolleras av driften. Filter spolas vanligtvis efter bestämd tid. Eftersom dessa tre parametrar mäts frekvent på ett stort antal filter i vattenverket ger detta upphov till stora mängder data som lagras. Fram till nu har det inte varit möjligt att enkelt göra täta återkommande sammanställningar för att löpande utvärdera driften. På verket saknas det verktyg för att utvärdera långa historiska tidsserier på ett systematiskt sätt. Då vattenverket ställs inför utmaningar med periodvisa problem med höga nivåer av turbiditet på vatten som lämnar sandfilter och krav att öka produktionen utan att samtidigt försämra vattenkvaliteten, vore det önskvärt att kunna dra lärdomar av tidigare historiska utfall av driften vid vattenverket. Idealiskt skulle man för att lära av historien vilja utföra en kontinuerlig utvärdering och övervakning av nyckelvariabler och derivatdata från processer som visualiseras över tid. Även jämförelser mellan parallella processer exempelvis funktion och prestanda för olika vattenfilter kunde bidra till att bättre utnyttja produktionspotentialen i vattenverket. Ur historiska data kan eventuella långsiktiga trender spåras och indikatorer som ger tidiga varningssignaler inför perioder med förhöjd turbiditet. Stora mängder historiska data kan vara ett bra underlag för att lägga upp strategier för hur styrning och operation kan optimeras i framtiden.

Databehandling

Data för sandfilter, vid Görvälns vattenverk, 5-minuters medelvärden under 7 års tid (2012-2018), har utvärderats i projektet. Under perioden har variabler som turbiditet, tryck, flöde, absorbans, pH, konduktivitet, temperatur och dos fällningskemikalie loggats. Anläggningen är komplex med 1 pulsator och fem flockningslinjer där flödet delas upp på 18 parallella sandfilter. Då det endast finns mätningar för det totala flödet genom anläggningen har varje enskilt flöde genom pulsator och flockningslinjer uppskattats. Pulsatorn står ensam för 450 l/s och det övriga flödet fördelas på fällningslinjerna enligt flock1 14.6%, flock2 14.6%, flock3 26.6%, flock4 22.1%, flock5 22.1%. Vissa variabler såsom turbiditet och temperatur mäts på flera ställen, vid råvattnets intag, efter sandfilter och i utgående vatten innan vattnet sänd ut i ledningsnätet. Flöde, tryck och turbiditet mäts för alla 18 sandfilter då den informationen bland annat används för att ta beslut om när det är lämpligt att tvätta ett filter genom backspolning. Sandfilter 1-11 tar emot vatten främst ifrån flockningsbasängar 1-3 och uppskattningsvis 20%

från bassäng 4 och 5. Sandfilter 12-18 tar emot en blandning av vatten från pulsatorn och uppskattningsvis 20% från bassäng 4 och 5. Utifrån ovanstående förhållande kan bidraget från de olika ingående delarna uppskattas. Data loggas automatiskt via ett SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) system. På Norrvatten används PGIM (Power Generation Information Manager) för att extrahera data vid behov till exempel i excel format. Den stora mängden data fördelat på många enskilda filer gör att det blir omöjligt att processa och samla alla data i ett enskilt excel dokument. Eftersom varken spolning eller skälet för spolning registreras är det svårt att analysera data. Därför har script och programmeringsspråket python valts, med en kapacitet att läsa och processa många hundratals Gb data genom att använda sig av förprogrammerade funktioner i befintliga programbibliotek och egna implementerade funktioner anpassade för vattenverkets speciella behov och utmaningar (till exempel för att identifiera och kvantifiera de olika momenten i en filtercykel).

Inläsning av data börjar med att alla indatafilers rubriker skannas och jämförs med varandra för att säkerställa att formaten är identiska så att filerna är redo att sammanfogas. Om avvikelser finns så varnar programmet och meddelar vilka filer som avviker. När avvikande filer är korrigerade så att de passar in i med övriga filer läses alla filer in i sin helhet och alla rader staplas på varandra i en lång lista. Listan sorteras på datum och klockslag och varje rad jämförs med övriga för att detektera dubletter som genast tas bort. Även datum där inga data förekommer på raden tas automatiskt bort. Datum som upprepas men där data skiljer sig, flaggas och plottas så att användaren kan utvärdera vilken åtgärd som skall göras. Oftast handlar dessa upprepningar av datum om övergångar mellan sommar och vintertid. Upprepningarna och efterföljande data kan korrigeras antingen direkt i indatafilerna eller genom anpassade skript under inläsningen. Vidare flaggas alla orimliga värden utanför definierade gränser tillsammans med extremvärden som ligger långt utanför den övriga datamängden. I korthet identifierades extremvärden genom att logaritmera och därefter filtrera ut värden som avvek med mer än 3 standardavvikelser. För att ytterligare försäkra oss om att de avvikande värdena inte ingick i en snabb men naturlig förändring i uppmätta data så beräknades en kvot av närliggande datapunkters avvikelser från max- och minimal värden. Om kvoten understeg 2 gjordes bedömningen att extremvärdet kunde avlägsnas. För ytterligare detaljer kring metoden se Lannergård et al

2019. Användaren väljer att godkänna borttagning av värdena eller behålla dem efter en visuell utvärdering.

Eftersom information saknas kring när spolningar av filtren skett, så behöver den tas fram utifrån loggade uppgifter på tryck och flöde. Det sammanhållna kvalitetskontrollerade datasetet används för att identifiera troliga tillfällen som sandfiltren spolats (backspolning). Det görs genom att man antar att en tvätt följer på ett hastigt tryckfall över sandfiltret och nedgång i flöde tills det blir negativt. Vidare antas att tidigast efter ett tidsintervall på två timmar kan en ny period med filtrering starta. Den nya perioden förutsätts starta då trycket ökar och flödet över filtret är positivt. Vidare förkastas cykler som pågår längre än 200 timmar, eller inte uppnår ett flöde som överstiger 40 l/s inom 12.5 timmar. Vid en utvärdering fångar denna uppsättning regler ca 95% av alla tvätt cykler, vilket kan anses bra. Tvätt cykeln är ett exempel på en så kallad derivatvariabel dvs en variabel som beräknas baserad på processdata och en matematisk algoritm.

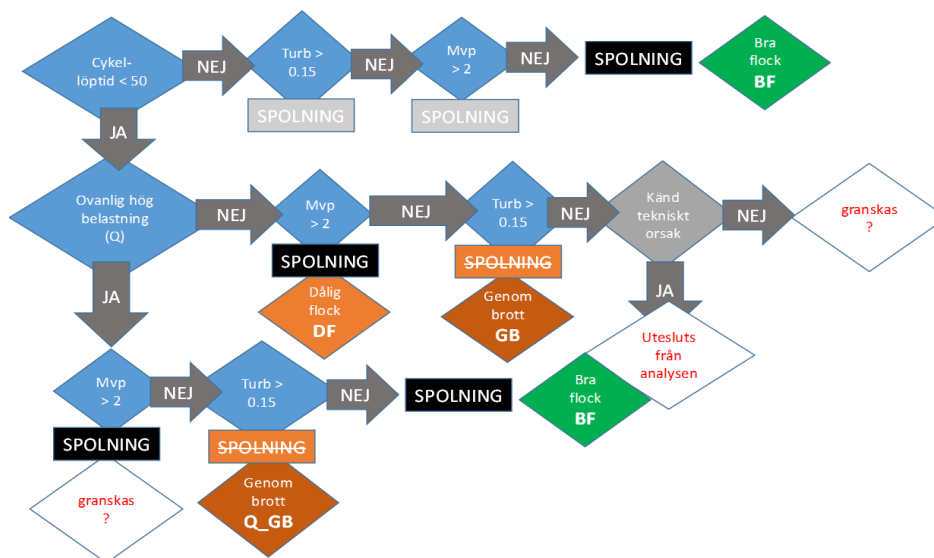
När tvätt cyklerna är identifierade kan fler derivatvariabler tas fram för enstaka tvätt cykler, till exempel statistik för längd på tvätt cykel (h), spoltid (h), filterlöptid (h), maximal turbiditet, 95 percentil av turbiditet (andra valfria variabler exempelvis 90 eller 99 percentilen kan också lätt räknas ut), antal filtergenombrott (definierat som turbiditet > 0.15 NTU), 95 percentil av tryck (mvp95), lutningen på tryckutvecklingen (Δ mvp/ Δ t), mängd producerat vatten (l), filterhastighet (m/h), mängden partiklar som ackumulerats på filtret

Om filtercykeltid plottas mot flöde för varje filter visar det att vissa filter uppvisar ett negativt samband, medan andra saknar samband. Att vissa filter uppvisar ett negativt samband kan tolkas som att de filtren har börjar fungera sämre till exempel på grund av de har successivt ansamlat mer och mer material trots de regelbundna backspolningarna. Individuella filter kan alltså jämföras med hur övriga filter fungerar. Baserat på hur bra de olika filter fungerar kan de nu rangordnas efter vilka filter som fungerar bättre och sämre, vilket i sin tur kan tjäna som grund för prioritering av vilka filter som i första hand skall användas i vattenproduktionen. Skriptet

- Identifierar när filter tvättas (backspolas) utifrån antaganden om flöde och tryckförändringars samband med tvätt tillfällen (beskriv reglerna). Fångar absoluta flertalet av tillfällen (95%?)

- Antar:
 - Inga filter går längre än 200h
 - Kortaste tid mellan två tvättar är 2 timmar
 - Flow > 40 l/s inom 12.5 timmar, annars förkastas cykeln.
- Beräknar tvättcykellängd utifrån tidsspann mellan två filtertvättar.
- Filtercykel data
 - Spoltid (h)
 - Filterhastighet (m/h)
 - Turbmax (NTU)
 - Turb 95 (NTU) - obs användare kan lätt ändra till 90%, 98% etc
 - Antal genombrott (n)
 - Definierat som hög turbiditet (>0.15 NTU) samtidigt som vatten produceras.
 - Mvp 95 ()
 - Mvp lutning ($\Delta mvp / \Delta t$)
 - Hur snabbt tryck byggs upp under filtercykeln (tryck-tid)
 - Mängd producerat vatten per filter (m³)
 - filterlöptid (h)
 - Beräknar mängden partiklar som fångas i filtren
- plottar filtercykeltid mot flöde och kan då se att tex vissa filter visar upp ett negativt samband, medans andra saknar sådant samband.
- Kan jämföra individuella filter mot övriga filter och se vilka filter som fungerar bättre respektive sämre. Grund för prioritering av filter.

Baserad på ovanstående klassificering kan olika filtercykel delas in när spolningstiden inleds. I samarbete med Norrvatten framtogs ett rimligt flödesschema som baseras på variablerna turbiditet, tryck, belastning (vattenproduktion) och filtercykel löptid enligt figuren nedan.



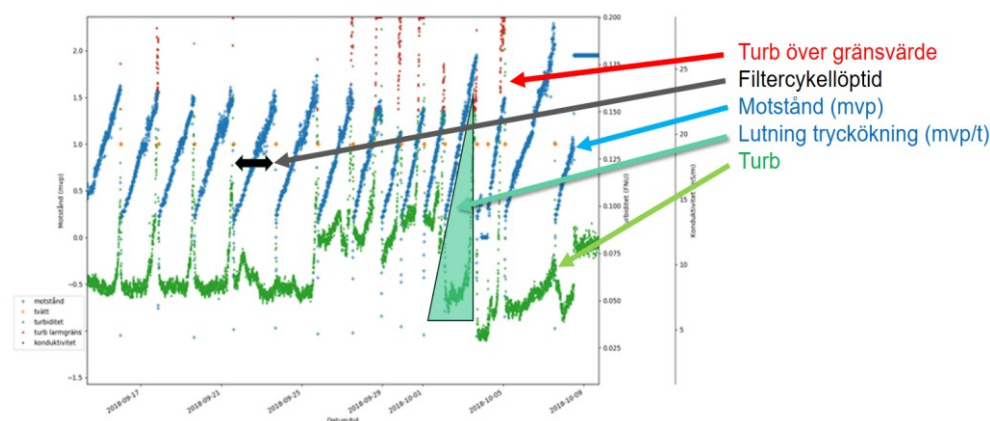
FIGUR 11: SCHEMA FÖR KLASSNING AV OLIKA FILTERLÖPTIDER.

Implementering

För enklare operationer såsom att beräkna max, min, percentiler, medelvärden (se listan ovan) används redan inbyggda funktioner i scriptspråket python ©. Vidare har egna funktioner och procedurer tagits fram i samma scriptspråk för att detektera orimliga extremvärden och identifiera särskilda händelser såsom backspolning av filter. Funktionerna och procedurerna kodas i möjligaste mån i en webbmiljö som kallas notebook som har fördelen att koden lätt kan läsas och kommenteras med formaterad text och sparade bilder och grafer från körningen. Vid tyngre operationer som använder sig av mycket loopar och hjälpfunktioner så har koden implementerats i rena python-script som kan köras med större effektivitet men saknar delar av den visuella överblicken som notebook-miljön erbjuder. Den stora fördelen med att använda script istället för att beräkna motsvarande data i t.ex MS-excel är att de kommandon som använts tar mycket liten plats att spara och att man kan gå tillbaka och se exakt vilka operationer och behandlingar av data som gjorts. Finner man att något behöver ändras så kan scripten enkelt korrigeras och köras om på nytt för att ta fram ett nytt korrigerat utdataset. Då python är ett öppen-källkod-språk så finns inga hinder med licenser för användning, utan varje användare kan fritt installera program för att köra script skrivna i python. Följande tillvägagångsätt kom till användningen:

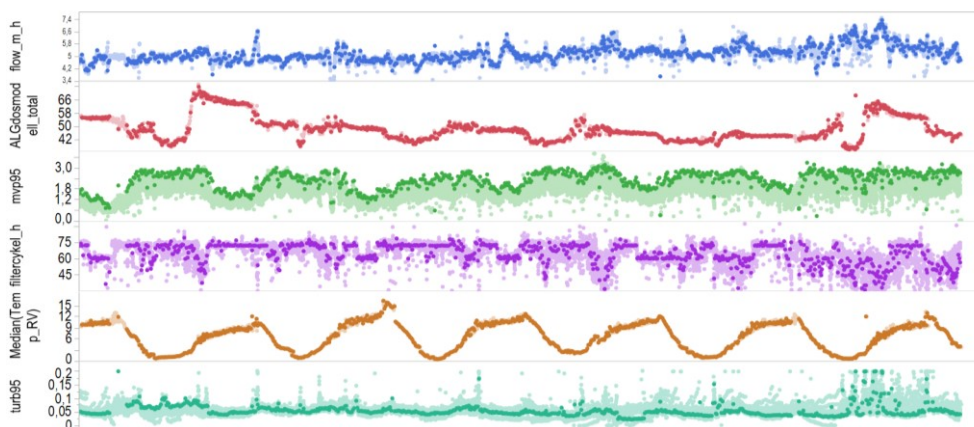
- Använder inbyggda python-funktioner för max, min, percentilberäkning etc
- Programmerar egna python-funktioner för att
 - detektera outlier
 - Using python library pandas.
 - 3 stdv
 - Löpande analys av närliggande min max värden som underlag för outlier analys.
 - Identifiera händelser (filtertvätt och tvätt cykler)
 - Sök och markera alla tillfällen med tryck <0
 - Behåll endast de tillfällen som överstiger 2h (kortare räcker inte för att fullständigt tvätta ett filter)
 - Behåll endast de tillfällen som har högt tryck 25 min före starten av filtertvätt, och samtidigt inte överskrider 200 timmar (annars sker troligen service av filterbassänger eller liknande)
 - Behåll endast tillfällen då tillräckligt flöde (>40 l/s) uppnåtts inom 12.5 timmar, annars är rör det sig troligen inte om en normal filteranvändning.
 - Beräkna derivatvariabler från tvätt cyklerna
 - Max, Min, Percentil, Medel, Summa, linjär lutning
- För att möjliggöra lättläst kod med kommentarer och för att ha stor flexibilitet att ändra och lägga till steg så har större delen av python-koden skrivits i notebook.

Nedan visas ett antal resultat från detta arbete. I första figuren redogörs för den automatiserade analysen av sandfilter. Pythonskriptet ta fram figurer där olika tidsserier plottas över tid. Fem variabler är utmarkerade. Vattenkvalitet med avvikande egenskaper (i detta fall turbiditet > 0.2 FNU) markeras med rött färg annars med grön färg. Den beräknade filtercykellöptiden är avståndet mellan två blå linjer som är en signal av uppbyggnad av tryck över tid ([mvp = meter vattenpelare]). Förändringen av tryck (mvp) över tid (t) anpassas automatiskt via linjär regression (mvp/t). Förutom att data presenteras grafiskt så sparas alla framtagna variabler i en exportfil. Användaren få också tillgång till grafer i form av pdf filer som sparas ner i en separat datafolder så att möjlig avvikelser under specifika perioder kan granskas med ögat vid behov.



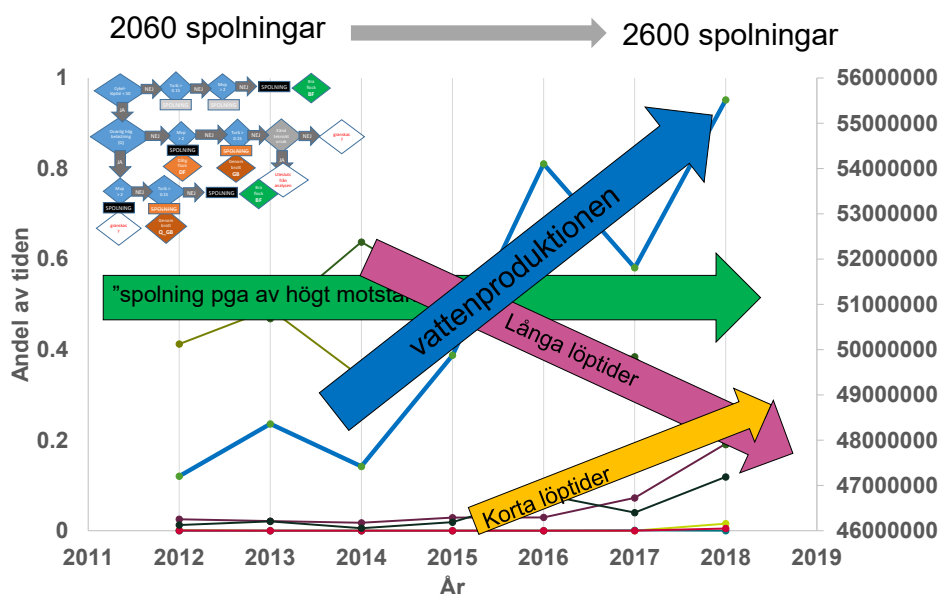
FIGUR 12: EXEMPEL PÅ AUTOMATISERAD ANALYS AV LÄNGD PÅ TVÄTTCYKLER OCH UPPBYGGT TRYCK OCH TURBIDITETSGENOMBROTT.

Nedan redovisas förändringar av ett antal variabler (belastning av respektive sandfilter (flow [m h^{-1}]), Al dosen (ALG [mg L^{-1}], 95% av mvp under respektive filtercykel [bar], den automatiskt beräknade filtercykellöptiden [h], vattentemperaturen [$^{\circ}\text{C}$] och 95% percentil av utgående turbiditet av respektive sandfilter. I just figuren nedan markeras ett specifikt filter (nr 12) så att den kan jämföras med resten av de andra 17 filtarna under hela perioden.



FIGUR 13: TIDSSERIE AV FRAMTAGNA VARIABLER ELLER VARIABLER SOM ERHÅLLS FRÅN SCADA SYSTEMET ENLIGT TEXTEN OVAN.

Ett viktigt resultat av den övergripande analysen är att det togs sam ett samband mellan den ökande vattenproduktionen mellan 2012 och 2018 och det ökande antal av kortare spoltider. Det ökande antal kortare spoltider (filtercykeltid < 50h) som låg runt 0% mellan 2012-2105 och sedan ökande till ca 20% under 2018 är ett resultat av den ökade belastningen av de 18 sandfilter.



FIGUR 14: UTVECKLING AV ANDEL AV OLIKA SPOLNINGSKLASSER (VÄNSTER Y-AXEL) ENLIGT SCHEMET I FIGUR 11 SÅ SOM ÅRLIG VATTENPRODUKTION (HÖGER AY-AXEL) SOM FUNKTION AV TID .

Verktøget som togs fram var dessutom ett mycket bra underlag för membrananalys som genomfördes i Varberg.

Lärdomar och förslag till framtida arbete

- Verktøget underlätta framtida analyser
 - nya variabel att logga: start/stop filttertøvt
 - Spara data på ett strukturerat og førutstøgbart sät.
 - Samma filformat xlsx/csv etc.
 - Samma rubriknamn genom i alla filer som skall læsas in
 - Se till att tidsangivelser är rätt
 - Korrigerade för sommartid og vintertid
 - Alla klockor i instrumenten är korrigerade för drift og går rätt.
 - Provtagning skall ha noteras i samma tidsformat som loggade data med avseende på sommar/vintertid og exakthet på klockor.

Framöver är det intressant att göra

- En systematisk genomgång historiska data visar på tidigare perioder med genombrott av turbiditet.
- En systematisk utvärdering av avvikande situationer i vattenverket kan ge underlag för uppföljning.
- Ett tvätt cykelschema med prioriteringar av vissa filter över andra samt möjligen test av ett beslutsstödsystem som föreslår spolningsschema
- Registrering av byte intagsdjup för att optimera produktion och minimera genombrott av turbiditet.
- Beskrivningar av algoritm och diskussion varför vissa variabler skapas kan underlätta användning av upplärning av driftpersonal.
- Derivatvariabler som beskriver den sammanlagda "tillståndet" av processen samt risk för genombrott.
- Större användning av AI t.ex. neuronala nätverk för beskrivning av olika tidsserier i processen (variationer av turbiditet i olika linjer) med empiriska ekvationer som kan bedöma avvikelse.

Arbetet har bidragit till övergripande mål 1, 2, 4 och specifika mål (SM) (1-5)

Fallstudie 6: Varberg Membrananalys

Problemställning:

Kvarnagårdens vattenverk i Varberg har sedan ett par år tillbaka en ultrafilteranläggning för mikrobiologiskt barriär och NOM-reduktion installerad. NOM kvantifieras via en sensor som mäter UV-ljus. Sedan installationen har det pågått ett kontinuerligt förbättringsarbete av driften av membranen genom exempelvis optimering av intervall av CEB (chemically enhanced backwash, kemiskt tvätt av membran), men det saknas verktyg för att på ett enkelt sätt följa upp och kvantifiera/analysera membranens prestanda, samt identifiera och karakterisera avvikande perioder och händelser. En viktig prestandaparameter är permeabiliteten som kvantifiera mängden vatten [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$] eller [l s^{-1}] som kan filtreras över en känd membranarea [m^2]

under kända tryckförhållanden [bar] . Ibland anges enheterna [$\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{bar}^{-1} = \text{m bar}^{-1} \text{s}^{-1}$] här använder vi oss av [$\text{l m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{bar}^{-1}$]. Partiklar samlas på membranet och därmed sjunker permeabiliteten under filtrationscykeln. Under beredningen spolas sedan backspolas membranet ("backwash") under en tvätt cykel efter en bestämd tid i bestämda intervaller. Effektiviteten av denna "backwash" bedöms genom att kvantifiera hur mycket av den ursprungliga permeabiliteten kan återställas. Efter ett bestämt antal intervaller av filtrations- och tvätt cykel måste membranet rengöras via CEB för att få bort utfällningar och kemiska beläggningar som inte kunde spolas bort. Genom att utveckla verktyg för att kvantitativt skatta förändringar över tid kan vattenverket säkerställa membranläggningens nuvarande och förväntade status, för att därigenom kunna optimera anläggningen ytterligare utifrån både kvantitet och kvalitet.

Databehandling:

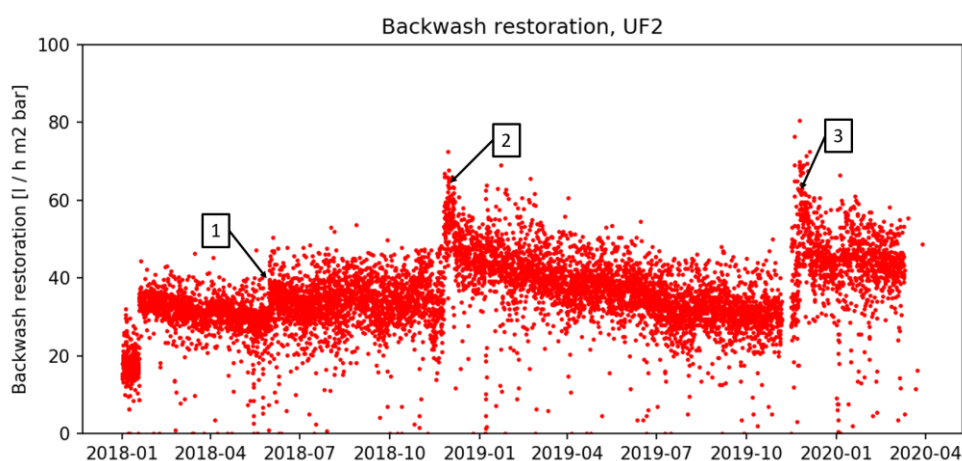
2,5 års data (2018/01/01 - 2020/04/01) med 1 minuts upplösning från membranläggningen på Kvarnagårdens vattenverk användes i analysen. Signaler från båda UF-stegen, med 4 (UF1:1 - UF1:4) respektive 2 (UF2:1 - UF2:2) racks, samt tillhörande processparametrar analyserades. Då signaler för begärda tvätt cykler började loggas från och med maj 2019 skapades metoder för att hitta tvätt cykler med hjälp av minskningar i permeabilitet för att kunna utvärdera hela tidsperioden. Dessa metoder som bygger på minskningar i permeabilitet är inte lika exakta som om man använder loggade signaler och kan i enstaka fall göra felberäkningar om den ingående data inte beter sig som i normalfallet. Det stora antalet tvätt cykler kompenserar dock dessa avvikelser då större trender fortfarande går att se tydligt. För att analysera membranprestandan beräknades följande variabler:

- Filtration start/stop point: start- respektive slutvärden för permeabiliteten inom varje filtreringscykel
- Backwash restoration: hur mycket permeabiliteten återställs under varje tvätt cykel
- Wash cycle length: längden för varje tvätt cykel
- Filtration cycle length: längden för varje filtrationscykel
- Filtration derivative: hur snabbt permeabiliteten sjunker inom varje filtrationscykel

- AccumulatedUV: "hur mycket UV" som belastat varje filtrationscykel
- TMP after CEB och AIT vid backwash: trycket över membranen efter ett air integrity test

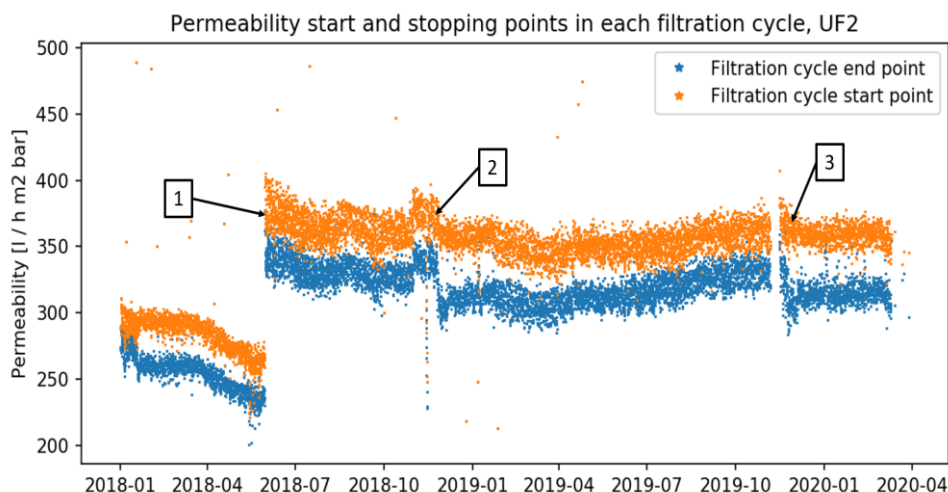
Här presenteras de övergripande resultaten från analyserna, mer detaljer finns tillgängliga i Appendix A. Analysen utfördes primärt på det första UF-steget då detta körs kontinuerligt och därmed har mer stabila signaler. Vid analysen kunde liknande mönster ses för alla fyra rack på första UF-steget, och därmed visas främst resultat från ett av racken (UF1:2).

Analysen inleddes med att studera *Backwash restoration* och där identifierades tre tydliga händelser. Backwash restoration har 1) en tydlig medelvärdesförskjutning i maj/juni 2018 och 2) en topp i slutet av november 2018 och därefter sjunker den igen över året fram till 3) slutet av november 2019 då den har en andra topp.



FIGUR 15: TIDSSERIE AV SKILLNADER I TMP I MEMBRANPACK 2 (UF2) EFTER EN BACKWASH (BACKWASH RESTORATION) FRÅN MEMBRANANLÄGGNINGEN I KVARANGÅRDEN DÅR TRE SPECIFIKA TIDSPUNKTER ÄR MARKERAD (1-3).

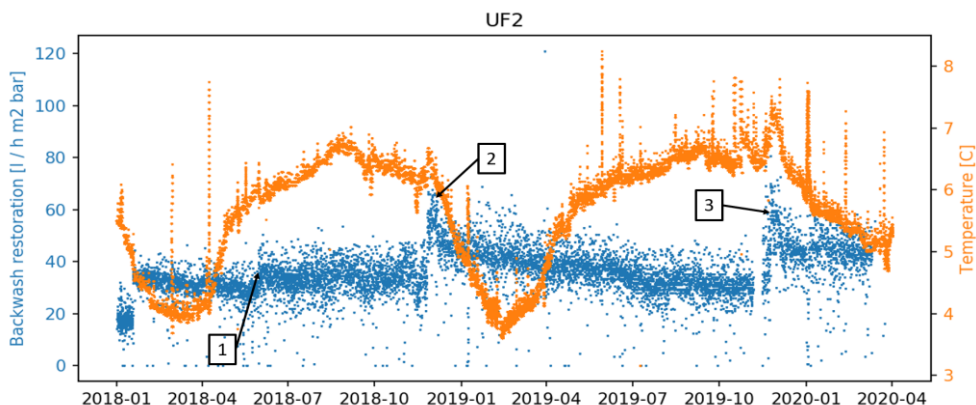
En hög backwash restoration innebär att skillnaden mellan permeabiliteten i början och slutet av tvättcykeln är stor. För att undersöka detta ytterligare studerades hur permeabiliteten vid start- respektive slutpunkt för filtreringscykeln utvecklades över tid.



FIGUR 16: TIDSSERIER AV FÖRÄNDRINGAR I PERMEABILITET I BÖRJAN (*) OCH SLUTET (*) AV EN FUNKTIONSCYKEL.

Den tydliga ökningen vid händelse (1) beror på att en CIP (cleaning in place) utfördes, och VIVAB har efter kontakt med membrantillverkaren fått höra att det är rimligt att *Filtration cycle start point* skulle sjunka något efter en CIP vilket kan ses från juli 2018 fram till att processen stabiliserat sig senhösten 2019. Vid både händelse (2) och (3) så är det framförallt *Filtration cycle end point* som blir lägre, dvs att permeabiliteten har sjunkit lägre innan tvätt cykeln startar. Vid händelse (2) sjunker även *Filtration cycle start point* vilket innebär att permeabiliteten inte tycks återställas under tvätt cykeln lika mycket som tidigare. Detta tycks dock stabiliseras under 2019 och även vara stabilt vid händelse (3). Figuren visar därmed att VIVAB har lyckats stabilisera membranprestandan och det beteende med en snabb nedgång av *Filtration cycle start point* som syns under första halvan av 2018 är numera borta.

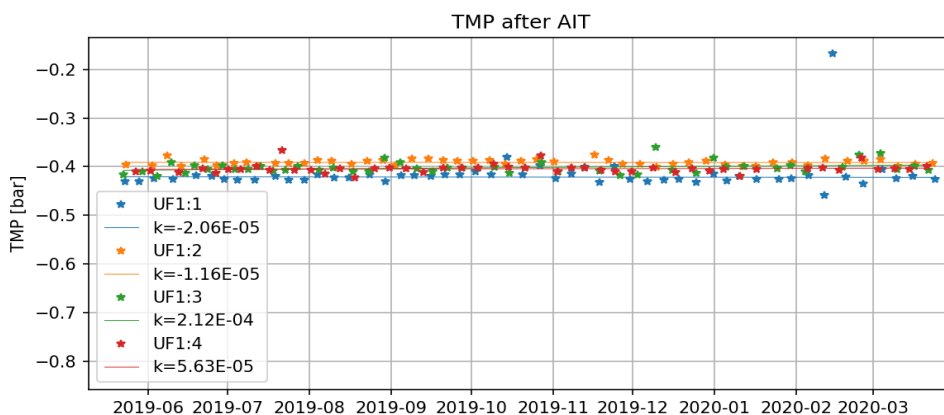
För att identifiera vad som orsakade händelserna i november 2018 och 2019 studerades kvaliteten och temperaturen på det ingående vattnet, och jämfördes med backwash restoration.



FIGUR 17: TIDSSERIE AV BACKWASH RESTORATION (●) OCH VATTENTEMPERATUR (●).

Här syns tydligt hur förändringen i backwash restoration korrelerar med den förändring som sker i ingående vattentemperatur då sjön, ur vilken ytvatten tas, vänder sig på senhösten. Således kan vi förvänta oss en liknande händelse motsvarande (2) och (3) i november 2020.

För att ytterligare kunna följa upp membranprestandan över tid beräknades TMP (trans membrane pressure) vid bakspolning efter både CEB och AIT (air integrity test) har utförts. I detta läge har membranet alltid samma läge driftmässigt. Genom att mäta membranprestandan utifrån en flödesinvariant parameter kan man få en utvärdering av membranerna vid liknande driftförutsättningar och därför en bättre uppskattning av prestandan över tid. När en AIT utfördes loggades i systemen med start i maj 2019, därav är dataserien för detta kortare. TMP temperaturkorrigerades med ekvation från Pentair, och en linjär anpassning till punkterna gjordes.



FIGUR 18: TIDSSERIE AV TRYCKET ÖVER MEMBRAN (TMP) FÖR FYRA OLIKA MEMBRANRACK (UF1-UF4).

Här kan vi se att TMP efter AIT tycks vara stabilt, med derivator nära noll, över tid för alla fyra racks vilket är det önskvärda scenariot.

Implementering

För analysen användes Python och en Jupyter Notebook skapades för att kunna möjliggöra användandet av verktyget efter projektets slut. Koden byggde vidare på det som utvecklats inom Fallstudie 4. I Jupyter Notebooken förklaras och beskrivs de ingående stegen i beräkningarna och analyserna, och användaren kan själv välja att fördjupa analyserna ytterligare.

Källkoden är öppet tillgänglig via IVL:s Github:<https://github.com/IVL-Research/DigiDrick>

Lärdomar och förslag till framtida arbete

Analyserna och de utvecklade verktygen visar att dricksvattenverk numera kan följa upp membranläggningens långsiktiga prestanda på ett sätt som tidigare ej var möjligt. Genom att studera data från VIVAB har vi kunnat validera att deras kontinuerliga förbättrings- och optimeringsarbete gett resultat. För att kunna göra dess analyser automatiskt och mer robust är det dock viktigt att vattenverken loggar de signaler som behövs, vilket VIVAB numera gör.

- Bidrar till övergripande mål 1, 4, 5 och specifika mål (SM) 1, 2, 4, 5 och 9.

Tidiga varningssystem

Fallstudie 7: Göta älv (Trollhättan och Kungälv) EXO sensor

Problemställning:

Utmed Göta Älv ligger flera kommuner som i sin dricksvattenproduktion är beroende av vattnet från älven. Älven går genom industri- och åkermark och det går även tung båttrafik vilket gör att vattnet i älven riskerar kraftiga förändringar utöver vanliga säsongvariationer. Göta Älvs vattenvårdsförbund har sensorer placerade utmed älven för att kunna mäta kvalitetsparametrar, och vattenverken vill kunna använda sensorerna som ett tidigt varningssystem för råvattenförändringar, framförallt för höga värden av turbiditet. Datakvaliteten och underhållet på de utplacerade sensorerna är dock osäkert vilket gör att sensorerna riskerar att ge falska larm och/eller missa riktiga toppar, och därmed krävs noggranna analyser för att avgöra om sensorerna är tillräckligt bra för att användas.

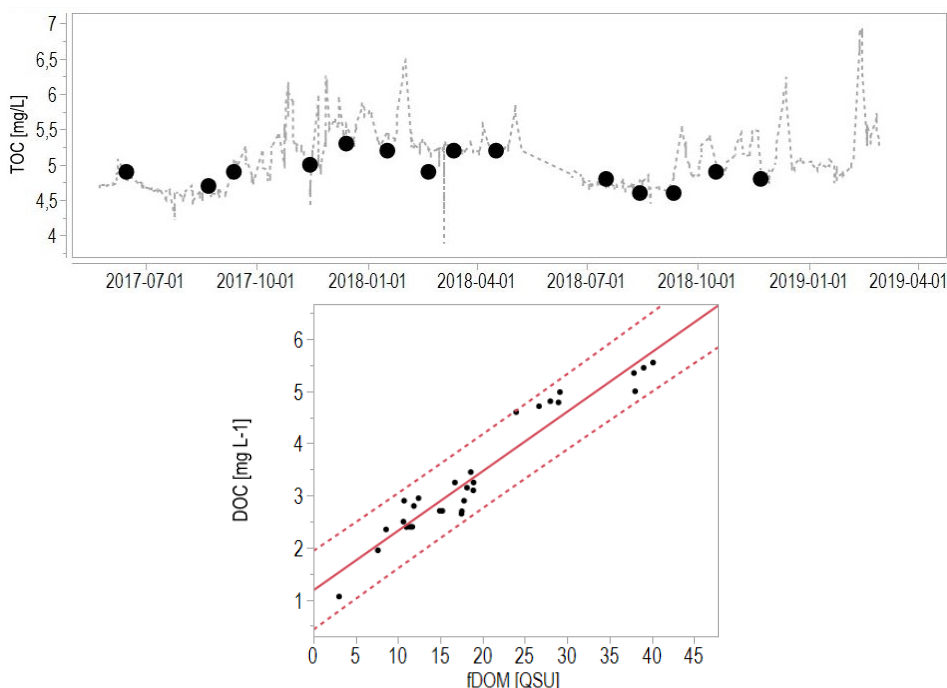
Databehandling:

Tolv månader (2017/01/01 - 2018/01/01) historisk data från Överby Vattenverk i Trollhättan samt data från exo-sensorer i Göta Älv vid Gäddebäck, Surte, Södra Nol samt Lärjeholm analyserades. Då dataserierna från sensorerna i älven bitvis saknade värden användes endast delar av tidsserierna för utvärdering. Data analyserades med script i tre steg. För att tvätta data och sortera bort felaktiga värden användes en utvecklad **avvikelse-algoitm**. Därefter användes **korskorrelation** för att hitta tidsfördröjningen mellan de olika signalerna, för att därigenom kunna jämföra beräknad vattenföring i älven med uppskattningar av personal på vattenverken och kunna avgöra vilka toppar som motsvarade varandra i de olika signalerna. Till sist gjordes en **jämförelse** mellan de värden i de olika signalerna som översteg gränsvärden för turbiditet för att på så sätt göra uppskattningar av datakvaliteten i exo-sensorerna och i vilken mån de kan användas som tidigt varningssystem för spikar av turbiditet.

De kvalitetsmått som beräknades var:

- hur stor andel av spikar av turbiditet som finns i exo-sensor och i vattenverkets data (sanna larm där båda värden överstiger gränsvärdet)
- hur stor andel av spikar av turbiditet som finns i exo-sensor data men inte i vattenverket (falsklarm)
- hur stor andel av spikar i vattenverkets data som inte finns i exo-sensorn (missade larm).

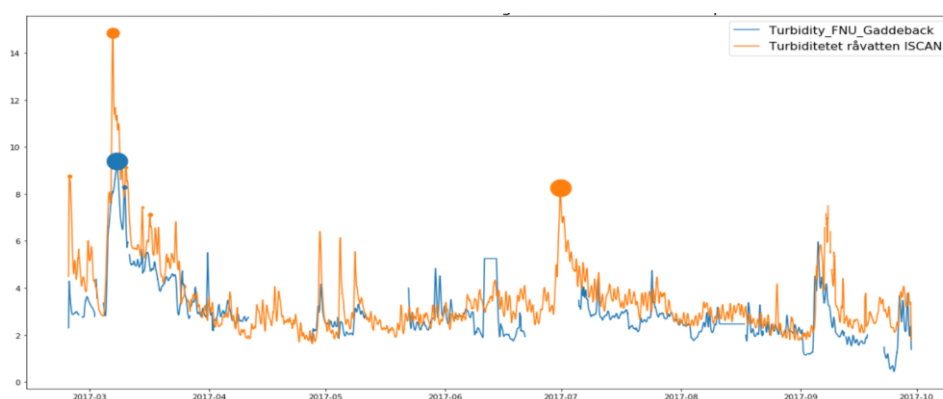
Data från EXO sensorn vid intaget av verket behandlades med syfte att analysera hur pålitligt EXO sensorn kan prediktera för att beskriver variationer i halten organiskt kol i råvatten. För detta behandlades data enligt proceduren som är beskriven in Hoffmeister et al (2020) och sedan jämfördes data med mätvärden från miljöövervakningen från SLU som ta prover i närheten av vattenverket. Dessutom undersöktes hur noggrann EXO sensorn kan bestämmer halten löst kol genom att placera sensorn på olika ställen i processen. Detta sistnämnda arbete genomfördes i samarbete med ett pågående projekt (*GENOMLJUSNING* som finansieras av Svenskt vatten utveckling).



FIGUR 19: TIDSSERIE AV MÄTNINGAR AV HALTEN ORGANISKT KOL (TOC ●) FRÅN MILJÖÖVERKNING SOM GENOMFÖRS AV SLU PÅ GÖTA ÄLV SAMT FRAMRÄKNAD MÄNGD TOC (---) VIA SIGNALER SOM EXTRAHERAS AV EXO2 SONDEN FRÅN INTAGET. I NEDRE DELEN REDOVISAS RESULTAT AV SAMMA TYP AV ANALYS MEN FÖR OLIKA MÄTKAMAPGNER INOM PROCESSEN (RESULTAT FRÅN SVU-PROJKTET GENOMLJUSNING).

Användningen av EXO sonden ger mycket pålitliga online resultat för halten organiskt kol. Även resultat från intaget är mycket pålitliga. Till skillnad från resultaten för turbiditet (se nedan) så signalen för TOC stabilare längs hela älven och leder därför fortfarande till mycket bra samband mellan prover som togs i älven utanför verket.

För att åskådliggöra detta visas nedan en figur från Trollhättan och exo-sensorn i Gäddebäck strax norr om Trollhättans intag. I figuren har varje identifierad topp markerats med en fylld cirkel och cirkelns radie motsvarar bredden på toppen vilket är en indikation på dess betydelse för vattenverket.



FIGUR 20: TIDSSERIE AV TURBIDITET UPPMÄTT TURBIDITET MED EXO RESPEKTIVE I:SCAN SONDE PÅ INTAGET (RÅVATTEN ISCAN) OCH UPPSTRÖMS VATTENVERKET (GADDEBÄCK)

Av analyserna ser vi att sensorn enbart identifierar 18% av topparna korrekt i det studerade tidsintervallet. Flera toppar som mäts i vattenverket reagerar inte sensorn på och vid vissa toppar har sensorn ingen signal.

Implementering

Skript är utvecklade i Python och finns tillgängliga och kan användas av driften för beräkning av variabler och analysfigurer.

Lärdomar och förslag till framtida arbete

Arbetet med att analysera data från exo-sensorerna gav flertalet lärdomar. Den mest genomgående var att datakvaliteten från sensorerna var för låg för att kunna utnyttjas på det sätt var som önskvärt. Detta exemplifieras av att det i delar av dataseten saknades korrekta

tidsstämplar och att eventuellt underhåll på exo-sensorerna behöver loggas och finnas tillgängligt. Att jämföra två olika sensorer som i det här fallet ger ytterligare osäkerheter. Kvaliteten på data för parametern turbiditet från I:scan och/eller exo-sensorerna behöver därför utredas ytterligare och med uppdaterade tidsserier för att undersöka om den låga korrelationen mellan uppmätt turbiditet i sensorn och vid mätningar vid intaget på vattenverket kvarstår. Det är känt sedan tidigare att båttrafik kan leda till lokala variationer i turbiditet. Det är fullt möjligt att många av dessa lokala variationer inte når fram till verket. Analys av halten organiskt kol i älven via en parameter som kallas FDOM visar mycket bättre överensstämmelse.

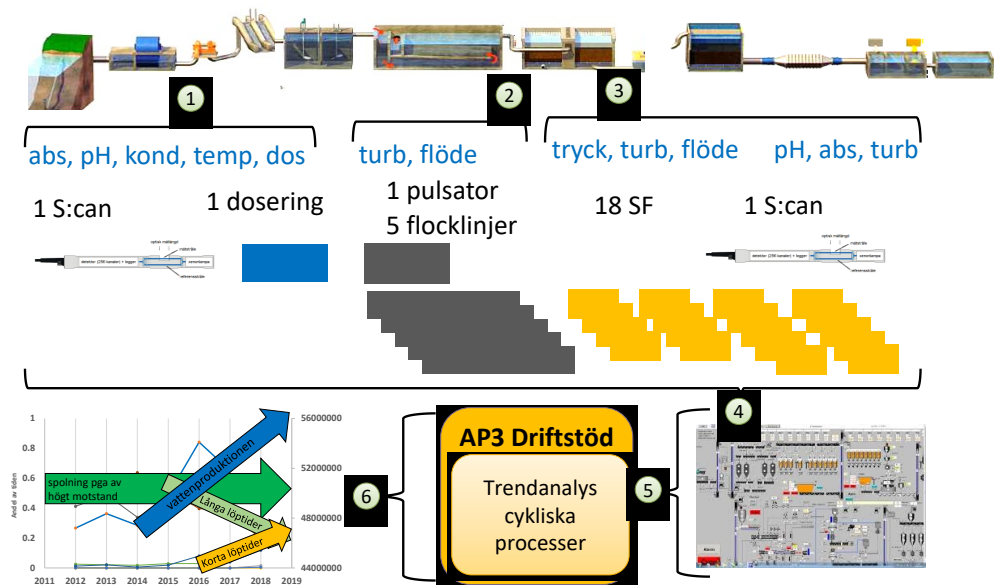
Metoderna som tagits fram visar på att vi numera på ett kvantitativt sätt kan utvärdera kvaliteten i att använda sensorer av detta slag för tidiga varningssystem. Både positionering av sensorerna i älven och urval av parameter från sensorer kan behöva adapteras för att nå målet med ett fungerande och pålitligt tidigt varningssystem.

- Bidrar till övergripande mål 1, 4, 5 och specifika mål (SM) 1, 2, 4, 5 och 8- 10.

4. Sammanfattning och framtida projekt

Nytta och utvecklingsmöjligheter av digitala verktyg och sensorer i beredningen är stora. Vi ser även en stor potential för vidareutveckling av den automatiserade behandlingen av data från olika processer. Koppla man ihop data från olika processer med de avancerade analysverktyg som togs fram, så finns det nu en större potential för avancerade beslutssystem än innan projektet startade.

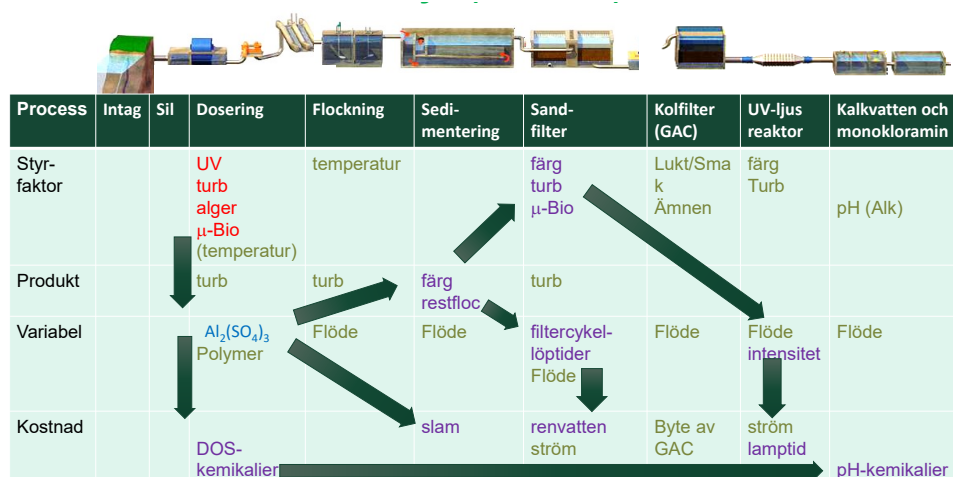
Arbetet inom WP3 har varit omfattande. Vi valde att ta arbetet som utfördes för Norrvatten för att illustrera de sex olika arbetssteg som ingick i de olika delprojekten: (1-3) Insamling och behandling av signaler från processen, från SCADA systemet (4), den efterföljande databehandlingen (5) och framtagandet av information för driftstöd (6).



FIGUR 21: EXEMPEL AV LEVERANS AV ANALYSMODELL FÖR CYKLISKA PROCESSER INOM AP3. 1) SIGNALER FRÅN RÅVATTEN, 2) SIGNALER EFTER FÄLLNING, 3) SIGNALER EFTER SANDFILTER ÖVERFÖRS TILL 4) SCADA SYSTEMET, LÄSAS UT VIA TEXTFILER SOM IMPORTERAS MED PYTHON SCRIPT 5) DÅR DATA BEHANDLAS OCH DÄREFTER UTVÄRDERAS DEN GRAFISKT SOM EN DEL AV ETT MÖJLIGT VERKTYG FÖR DRIFTSTÖD 6).

Den schematiska bilden ovan visar att metoderna som togs fram inom WP2 och 3 kan i framtiden användas för att göra en övergripande bedömning av beredningsprocessen med avseende på flera parametrar. Några viktiga exempel är energi och hållbarhet, robusthet och barriärverkan, vattenkvalitet och klimatteffekter samt kostnader.

I figuren nedan redovisas hur olika steg i processen påverka efterföljande steg. Styrfaktorerna (t.ex. vattentemperatur) för de olika processerna har olika produkt (t.ex. mängd slam som bildas) och kan styras via olika variabler (t.ex. mängd fällningskemikalie, vattenflöde, uppehållstider). Kombination av dessa tre leder till olika resultat. Ett av resultaten kan vara olika: **barriärverkan, bedömning av produktionskapaciteten eller risk för nedsatt produktionsförmåga/undermålig vattenkvalitet** eller så som i figuren nedan **produktions- och driftkostnaderna**. Tillgång till avancerade och kopplade datasystem möjliggör att anpassa och optimera processen med avseende på flera faktorer samtidigt men även att använda dessa system för utbildning.



FIGUR 22: SCHEMA AV BEREDNINGSPROCESSEN VID GÖRVÄLNVERKET SAMT HUR OLIKA STEG I PROCESSEN PÅVERKAS AV OLIKA STYRFAKTORER , HUR DESSA LEDER TIL OLIKA PRODUKTER, HUR DE KAN ADAPTERAS MED OLIKA VARIABLER OCH VILKA MÖJLIGA KOSTNADER DESSA KAN FÖRORSAKA.

I ett nästa skede bör verktygen även kunna användas och vidareutvecklas för att genomföra simuleringar som ha som mål att bedöma hur driften kan påverkas av förändringar av viktiga styrfaktorer (t.ex. genom simulerade framtida förändringar i råvatten kvalitén, möjliga fluktuationer i produktionen, möjliga uppgraderingar av anläggningen, bortfall av delar av anläggningen etc).

Projektet har genom flera exempel visat att det går att komma över ett antal praktiska hinder för *implementeringen* av automatiserad databehandling. Möjligheten till individuell och anpassbar programkod klarar av att behandla olika datatyper, olika tidsupplösning, att läsa in data från olika SCADA system, formatera data och att hantera osystematiska variabelnamn. De fria tillgängliga verktygen som togs fram under Digidrick är en **värdefull resurstillgång för hela sektorn**. Nu är det betydligt enklare att göra historiska analyser, att hantera olika typer av data samt att skapa ny data och en helt ny information om processen. Projektet har också höjt medvetenheten av de viktiga historiska analyserna.

Praktiska hinder för den framtida *förvaltningen* av data kan uppstå om dokumentation av byte av sensorer, byte av personal, byte av SCADA-system eller byte av process inte dokumenteras samt att verktygen anpassas därefter. Eftersom tillgång till processingenjörer som är villiga att sätta sig in i kod är idag begränsat, anses detta vara en stor risk. Programmering via python blir dock allt vanligare på universiteten och MATLAB som kräver dyra licenser och som använts tidigare kommer att få mindre och mindre betydelse framöver.

Om sektorn anpassar sig och **samordnar behoven och verktygen**, så finns det stora möjligheter för en individuell anpassning och **gemensam vidareutveckling av existerande kod**.

Resultterande data har dessutom stor potential att **förstärka utvecklingsarbete med piloten** som togs fram i WP3.

5. Referenser

Wagner, M., Schmidt, W., Imhof, L., Gröbel, A., Jähn, C., Georgi, D. and Petzoldt, H. (2016) Characterization and Quantification of Humic Substances 2D-Fluorescence by usage of extended Size Exclusion Chromatography. Water Research 93.

S. Hoffmeister, K. R. Murphy, C. Cascone, J. L. J. Ledesma and S. J. Köhler (2020) Evaluating the accuracy of two in situ optical sensors to estimate DOC concentrations for drinking water production. DOI: 10.1039/D0EW00150C (Paper) Environ. Sci.: Water Res. Technol., 2020, 6, 2891-2901.

<https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/ew/d0ew00150c>

Stephan J. Köhler, Svenja M. Hoffmeister, Johannes Kikuchi och Karin Wallman (2019) Utvärdering av användningen av multielektrodsönder inom miljöövervakning av sjöar- Exempel från Mälaren- SLU, Vatten och miljö: Rapport2019:3

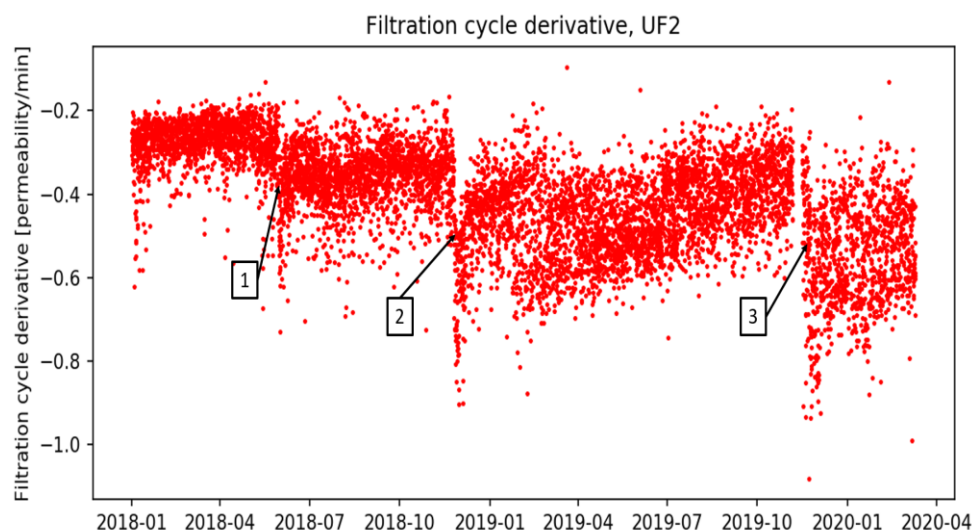
https://pub.epsilon.slu.se/16067/7/kohler_s_et_al_190412.pdf

6. Appendix

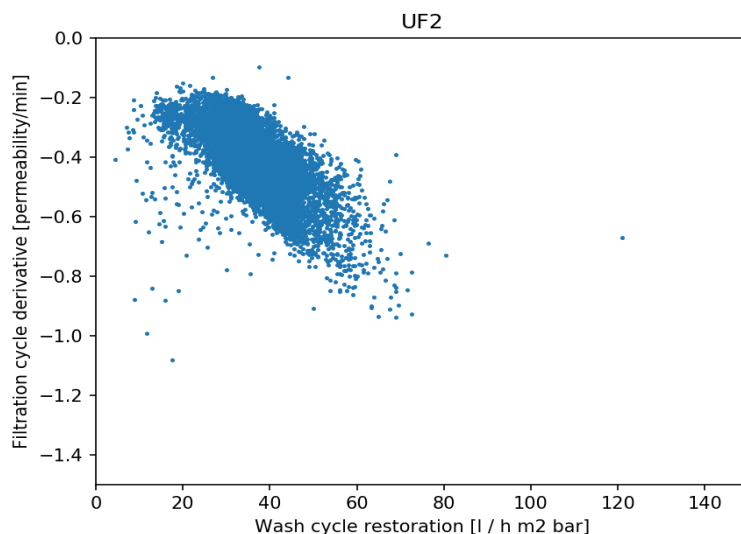
Appendix A

Här följer en kompletterande och mer detaljerad analys av resultaten från membranläggningen vid Kvarnagårdens vattenverk i Varberg.

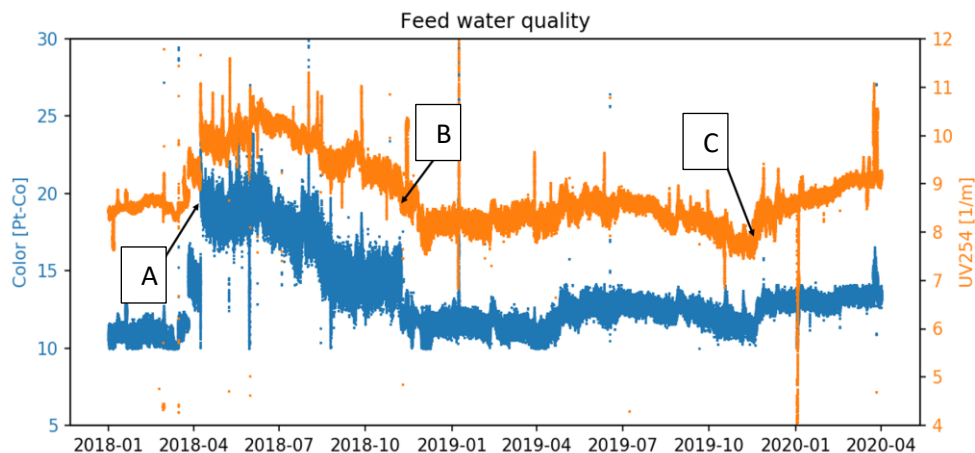
Förändringen som sker vid händelse 2 och 3 som diskuteras tidigare i rapporten kan vi även följa upp genom att studera *Filtration cycle derivative*, dvs hur snabbt permeabiliteten sjunker inom varje filtreringscykel. Denna studerades genom att beräkna lutningen på en linjär anpassning av permeabiliteten inom varje filtreringscykel. I tidsserien ser vi hur förändringshastigheten ökar över tid, med större hopp vid de tidigare identifierade händelserna 2 och 3. Likt tidigare ser vi dock hur den tycks återställas under perioden mellan dessa två händelser.



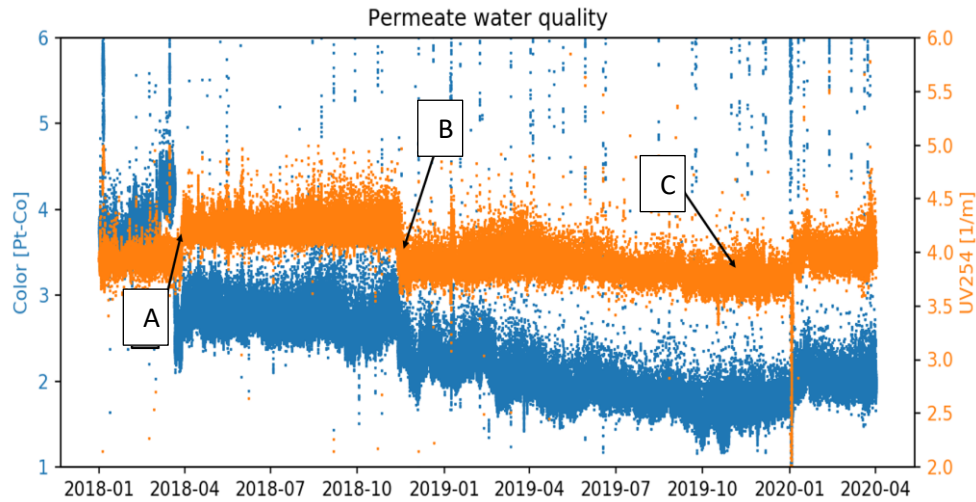
Vi ser även tydligt ett förväntat samband mellan backwash restoration och filtration cycle derivative genom att membranen måste återställas mer om permeabiliteten sjunker snabbare, vilket visas i figuren nedan.



Omblandningen av vattnet som sker vid händelse A, B och C påverkar det ingående vattnets kvalitet vilket visas i figuren nedan. Framförallt vid händelse A sker en kraftig förbättring av matarvattnets kvalitet då både färg och UV254 sjunker. Det motsatta sker dock vid händelse C då kvaliteten istället försämras.



För att säkerställa att membranläggningens förändrade beteende under november 2018 och 2019 inte påverkade kvaliteten på utgående vatten negativt analyserades signalerna från permeat vattnet. Här kan vi se hur den förändrade matarvattenkvaliteten återspeglas i permeat vattnet vid händelse A men att kvalitét av permeat vatten t tycks stabil vid händelse C vilket åter indikerar att VIVABs kontinuerliga förbättringsarbete gjort att de fått bättre koll på processen.

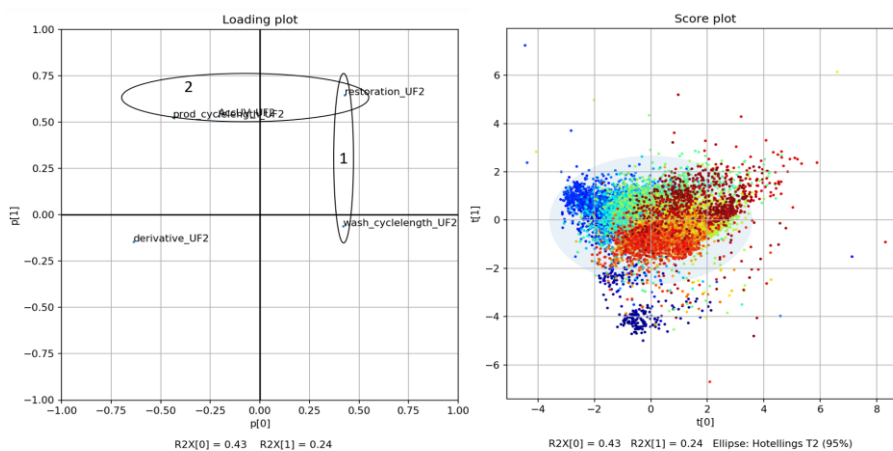


Hur processen utvecklade sig över tid studeras även med hjälp av multivariat analys. Metoden som användes var PCA (principal component analysis), och mer detaljer om metoden kan hittas här: <http://miljostatistik.se/PCA.html>, och dess främsta förmåga är att den reducerar antalet dimensioner i data man studerar vilket gör det lättare att visualisera. Två olika typer av figurer studeras, scores och loadings.

- Scores: I score-figuren är varje punkt en mätpunkt och i detta fall färgas mätpunkterna efter tid (blå=2018-01-01, röd=2020-04-01). $R2X[0] + R2X[1]$ är en estimering av hur mycket av den totala variabiliteten i datan som kan förklaras av de komponenterna t_0 och t_1 , och detta ska vara så nära 1 som möjligt. Varje mätpunkts position i figuren bestäms av storleken på de ingående variablerna och deras position i loading-figuren.
- Loadings: I loading-figuren är varje punkt en specifik variabel. Figuren visar hur komponenterna p_0 och p_1 på x- respektive y-axeln beror på dessa variabler samt hur variabler korrelerar med varandra. Variabler nära varandra är positivt korrelerade, variabler på motsatta sidor om origo är negativt korrelerade, och ortogonala variabler är okorrelerade.

PCA användes för att studera de beräknade variablerna (backwash restoration, wash cycle length, filtration cycle derivative, production

cycle length, accumulated UV254) och hur de utvecklades över tid. För UF1:2 visas score- samt loading-figurer nedan.



I figurerna kan vi se att första principalkomponenten utmed x-axeln beskriver 43% av variabiliteten i data och att komponent två beskriver ytterligare 24% vilket ger totalt 67%.

I loading-figuren till vänster kan vi framförallt se två beroenden. 1) Backwash restoration och wash cycle length ligger på omkring samma position på x-axeln vilket betyder att de har hög korrelation vilket är intuitivt då en längre tvättcykel återställer permeabiliteten mer. 2) Production cycle length och accumulated UV254 har hög korrelation vilket även det är förväntat, och att de är på y-axeln är korrelerade med backwash restoration. Detta har sin förklaring i att en längre produktionscykel ofta då måste kompenseras med ett högre återställande av permeabiliteten.

I score-figuren till höger kan vi se hur processen rör sig över tid och att processen förflyttar sig uppåt höger från start (blå) till slut (röd) av mätperioden. Detta förklaras av att den variabel i loading-figuren som dominerar uppåt höger är backwash restoration, vilken har ökat under mätperioden. Det förklaras även av att variabeln som dominerar nedåt vänster, filtration cycle derivative, har blivit mer negativ.

Slutsatsen som kan dras av att använda multivariat analys är att en betydande del (67%) av variabiliteten av viktiga variabler i processen kan studeras i en tvådimensionella övergripande figur. Detta möjliggör en förenklad grafisk statusbild av processens nuvarande tillstånd samt om det finns underliggande trender.