



CHALMERS

Optiska sensorer för övervakning av vattenkvalitet

En analys av löst organiskt material och polycykliska aromatiska kolväten genom spektrofotometriska mätmetoder vid Kungälv's vattenreningsverk

Kandidatarbete inom samhällsbyggnadsteknik

CHARLOTTA ANDERSSON, PERNILLA ANDERSSON,
JACOB ANDRÉASSON, PATRICIA BENGTSSON FERRUFINO,
WILMA NILSSON OCH MARCUS ÖSTERMAN

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2021

www.chalmers.se

KANDIDATARBETE 2021

ACEX10-21-82

Optiska sensorer för övervakning av vattenkvalitet

En analys av löst organiskt material och polycykliska aromatiska kolväten genom spektrofotometriska mätmetoder vid Kungälvsvattenrensning

CHARLOTTA ANDERSSON, PERNILLA ANDERSSON,
JACOB ANDRÉASSON, PATRICIA BENGTSSON FERRUFINO,
WILMA NILSSON OCH MARCUS ÖSTERMAN



CHALMERS

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för vatten miljö teknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2021

Optiska sensorer för övervakning av vattenkvalitet

En analys av löst organiskt material och polycykliska aromatiska kolväten genom spektrofotometriska mätmetoder vid Kungälv's vattenreningsverk

CHARLOTTA ANDERSSON, PERNILLA ANDERSSON, JACOB ANDRÉASSON,
PATRICIA BENGTSSON FERRUFINO, WILMA NILSSON OCH MARCUS ÖSTERMAN

© CHARLOTTA ANDERSSON, PERNILLA ANDERSSON, JACOB ANDRÉASSON,
PATRICIA BENGTSSON FERRUFINO, WILMA NILSSON OCH MARCUS ÖSTERMAN,
2021.

Handledare: Kathleen Murphy, Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Examinator: Frank Persson, Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Kandidatarbete 2021

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för vatten miljö teknik

Chalmers Tekniska Högskola

SE-412 96 Göteborg

Telefon +46 31 772 1000

Göteborg, Sverige 2021

Sökord: optiska sensorer, dricksvatten, vattenrening, vattenkvalitet, DOM, PAH, absorbans, fluorescens

Key words: optical sensors, drinking water, water treatment, water quality, DOM, PAH, absorbance, fluorescence

Förord

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Kathleen Murphy, docent på Chalmers tekniska högskola, som gett oss många bra idéer, vägledning och stöd under arbetet. Vi vill även rikta ett särskilt tack till Andrew Holmes, processingenjör på Kungälv kommun, som varit en stor hjälp och en viktig del av projektet. Tack till Niklas Strömbeck, Loude Consulting, Andreas Carlryd, Göteborgs Kretslopp och vatten, och Åke Damgren, Vattenfall, för alla svar på de många frågor som uppstått under arbetets gång. Vi vill även tacka Jonas Arvidsson, VD för AquaCom Nordic, för att ha försett oss med information om sensorn *EnviroFlu-HC*.

Ett sista tack vill vi rikta till våra medstudenter Karin Albråten, Sofie Allgöwer, Matilda Blomgren, Clara Dahlberg, Sofia Ljungdahl samt Hans Malmström, docent på Chalmers tekniska högskola, för era kommentarer och synpunkter på vår rapport.

Charlotta Andersson, Pernilla Andersson, Jacob Andréasson, Patricia Bengtsson Ferrufino, Wilma Nilsson och Marcus Österman

Göteborg, 14 maj 2021

Optical Sensors for Monitoring Water Quality

An Analysis of Dissolved Organic Matter and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons through Spectrophotometric Measurements at Kungälv Water Treatment Plant (Sweden)

CHARLOTTA ANDERSSON, PERNILLA ANDERSSON, JACOB ANDRÉASSON,
PATRICIA BENGTSSON FERRUFINO, WILMA NILSSON AND MARCUS ÖSTERMAN
Department of Architecture and Civil Engineering
Chalmers University of Technology

Abstract

According to food regulations in Sweden today water is considered a food after going through a Drinking Water Treatment Plant, DWTP. Thorough and precise water monitoring is required both before and during the treatment in order to provide quality drinking water. A tool that has been used more frequently in the last decades are optical sensors. At the Kungälv DWTP, and the adjacent areas around it, a number of *in situ* sensors are used, resulting in a lot of data.

Optical sensors are usually based on absorbance- and fluorescence spectroscopy and can measure or estimate a large number of different parameters that affect the quality of the water. In water treatment, Dissolved Organic Matter, DOM, and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAH, are two components that can influence how the water treatment process will be carried out. The sensors *Spectrometer Probe V2* and *EnviroFlu-HC*, stationed at Kungälv DWTP, and the *EXO fDOM Smart Sensor* found in the measuring station located south of Nol collects data that is partially used for the required monitoring of the water treatment.

This project examines how different components of DOM and PAH at the raw water intake at the Kungälv DWTP relates to each other. Furthermore, a few possible factors that are assumed to be the cause of the observed shifts in the sensor measurement are investigated. Another focus of the project is to study a few selected parts of the water treatment and how these are affected by changes in the composition of the water. The project is mainly based on data processing through the MATLAB computer software, in which a script has been produced that handles importing, processing and visualization of data.

The results indicate that the different components of DOM and PAH correlates well. The deviations found are difficult to unequivocally find the cause for. In order to investigate the deviations, factors such as *E.coli*, turbidity and precipitation are studied which seems to be factors affecting the changes observed in the sensor data. If one of the parameters *E.coli*, turbidity or precipitation increases in the water, an increase in the measured data from the sensors are noticed. The DWTP is also concluded to have high efficiency and the water treatment adapts accordingly to the changes found in the raw water composition.

One thing that contributes to the uncertainty of the accuracy of the measured values and the results are the fact that the measurement points are spread out over a rather large geographical area. Despite this, and the fact that data from optical sensors are hard to interpret, it is a good method for detecting changes in water composition.

Sammandrag

Vatten är något som i Sverige idag klassificeras som livsmedel när det passerat genom ett vattenreningsverk. För att tillhandahålla högkvalitativt dricksvatten krävs en noggrann övervakning både före och under reningsprocessen. Ett verktyg som de senaste årtiondena blivit allt vanligare är optiska sensorer. Vid Kungälvs vattenreningsverk och i området kring reningsverket används ett flertal sensorer *in situ* som levererar stora mängder data.

Optiska sensorer baseras ofta på absorptions- och fluorescensspektroskopi och kan mäta eller estimerar många av de parametrar som påverkar vattnets kvalitet. Vid dricksvattenrening är löst organiskt material, DOM, och polycykliska aromatiska kolväten, PAH, två komponenter som kan komma att påverka hur reningsprocessen utförs. Vid Kungälvs vattenreningsverk finns sensorerna *Spectrometer Probe V2* och *EnviroFlu-HC* och vid en mätstation i södra Nol finns *EXO fDOM Smart Sensor*, vars data delvis används för den övervakning som vattenreningsprocessen kräver.

Det här arbetet undersöker hur olika komponenter i DOM samt PAH vid råvattenintaget till Kungälvs vattenreningsverk förhåller sig till varandra. Vidare studeras ett fåtal möjliga faktorer som förväntas ligga bakom de skiftningar som noteras i sensorernas mätdata. Dessutom undersöks också valda delar av reningsprocessen och hur dessa påverkas av förändringar i vattnets komposition. Arbetet baseras främst på hantering av data i MATLAB, där ett skript har tagits fram som hanterar import av mätdata, bearbetning av data och visualisering.

Resultatet visar att de olika komponenterna i DOM och PAH följer varandra väl. De avvikelser som noteras är dock svåra att entydigt förklara. För att undersöka avvikelserna studerades faktorer såsom *E. coli*, turbiditet och nederbörd vilka tycks vara drivande i de förändringar som noteras i sensorernas data. När någon av parametrarna *E. coli*, turbiditet eller nederbörd ökar stiger också de mätvärden som sensorerna genererar. Vidare anses dricksvattenbehandlings effektivitet vara god och följa de förändringar som noteras i råvattnets komposition.

En faktor som bidrar till viss osäkerhet kring resultatet är att sensorerna och övriga mätstationer är utspridda inom ett större geografiskt område. Trots dessa osäkerheter och att data från optiska sensorer är svårt att tolka är det en god metod för att upptäcka förändringar i vattnet.

Innehållsförteckning

Figurförteckning	i
Nomenklatur	iii
1 Bakgrund	1
1.1 Kungälvs vattenreningsverk och mätstationen i södra Nol	1
2 Målsättning och projektets avgränsningar	4
2.1 Syfte och mål	4
2.2 Frågeställning	4
2.3 Avgränsningar	5
3 Spektroskopi och optiska sensorer vid Kungälvs vattenreningsverk	7
3.1 Spektroskopi för mätningar med optiska sensorer	7
3.1.1 Absorptionsspektroskopi	7
3.1.2 Fluorescensspektroskopi	8
3.2 Optiska sensorer vid Kungälvs vattenreningsverk och deras funktion	8
3.2.1 s::can - <i>Spectrometer Probe V2</i>	9
3.2.2 EXO2 - <i>EXO fDOM Smart Sensor</i> och <i>EXO Turbidity Smart Sensor</i>	9
3.2.3 FP360 - <i>EnviroFlu-HC</i>	12
3.2.4 Precision hos optiska sensorer	13
4 Beskrivning av mätvärden	14
4.1 Löst organiskt material och polycykliska aromatiska kolväten	14
4.2 Temperatur, turbiditet och inre filtereffekt vid optiska mätningar	16
4.2.1 Korrigering vid fluorescensmätningar	17
4.3 Koagulerande dos och permeabilitet	18
5 Metod	19
5.1 Litteraturstudier	19
5.2 Insamling av data	19
5.3 Kommandon i MATLAB	21
5.4 Genomförande	21
6 Resultat och analys	24
6.1 Resultat och analys av DOM, PAH och aQY	24

6.2	Resultat och analys av data från reningsprocessen	28
6.2.1	Koagulerande dos	28
6.2.2	Permeabilitet i ultrafilter	32
6.3	Resultat och analys av möjliga påverkansfaktorer	36
6.3.1	<i>E.coli</i>	36
6.3.2	Turbiditet	39
6.3.3	Nederbörd	43
6.3.4	Vattenflöde i Göta älv	47
7	Diskussion	48
7.1	Utvärdering av metod	48
7.1.1	Källkritik	48
7.1.2	Genomförande	48
7.2	Resultatets tillförlitlighet och MATLAB-skriptet	50
7.2.1	Granskning av resultat	50
7.2.2	Datahantering i MATLAB	51
8	Slutsats	53
9	Vidare forskning	56
	Referenser	57
	Bilaga A Mätstationen i södra Nol	I
	Bilaga B Flöde i Göta älv	II
	Bilaga C Rådata och behandlad data	VI
	Bilaga D MATLAB-kod	VIII

Figurförteckning

1.1	Karta över Kungälvsvattenreningssystemet och mätstationerna	3
3.1	Jablonski-diagram	8
3.2	Skissen av modell <i>Spectrometer Probe V3</i>	9
3.3	Huvudkomponenterna i <i>Spectrometer Probe V2</i>	9
3.4	EXO2-sond i genomskärning	10
3.5	EXO2-sond sensorportar	11
3.6	<i>EXO fDOM Smart Sensor</i>	11
3.7	<i>EXO Turbidity Smart Sensor</i>	12
3.8	FP360-sensor av modell <i>EnviroFlu-HC</i>	12
3.9	Huvudkomponenter i sensorn <i>EnviroFlu-HC</i>	13
4.1	Excitations- och emissionsvåglängder för två DOM-grupper	15
6.1	FDOM (450 nm) och CDOM (350 nm)	25
6.2	aQY för FDOM (450 nm) och CDOM (350 nm)	25
6.3	Originaldata för PAH (FDOM) och CDOM (280 nm)	26
6.4	Inverterad PAH (FDOM) och CDOM (280 nm)	26
6.5	aQY för PAH (FDOM) och CDOM (280 nm)	27
6.6	FDOM (450 nm) och PAH (FDOM)	27
6.7	Temperatur-, turbiditet- och IFE-korrigerad FDOM (450 nm) och okorrigerad FDOM (450 nm)	27
6.8	Temperatur	28
6.9	Koagulerande dos	29
6.10	FDOM (450 nm) och koagulerande dos	29
6.11	CDOM (350 nm) och koagulerande dos	30
6.12	PAH (FDOM) och koagulerande dos	30
6.13	CDOM (280 nm) och koagulerande dos	30
6.14	UV ₂₅₄ och koagulerande dos	31
6.15	UV ₂₅₄ före och efter ultrafilter	31
6.16	Permeabilitet för de fyra ultrafiltren	32
6.17	Permeabilitet för de fyra ultrafiltren och FDOM (450)	33
6.18	Permeabilitet för de fyra ultrafiltren och CDOM (350 nm)	33
6.19	Permeabilitet för de fyra ultrafiltren och aQY (450)	34
6.20	Permeabilitet för de fyra ultrafiltren och PAH (FDOM)	34
6.21	Permeabilitet för de fyra ultrafiltren och CDOM (280)	35

6.22	Permeabilitet för de fyra ultrafiltren och aQY (360)	35
6.23	Inst och MPN-provtagningar av <i>E.coli</i>	36
6.24	<i>E.coli</i> Inst, <i>E.coli</i> MPN och laboratorieanalyserade vattenprov för <i>E.coli</i> och koliforma bakterier	37
6.25	FDOM (450 nm) och <i>E.coli</i> MPN	37
6.26	CDOM (350 nm) och <i>E.coli</i> MPN	38
6.27	PAH (FDOM) och <i>E.coli</i> MPN	38
6.28	CDOM (280 nm) och <i>E.coli</i> MPN	39
6.29	FDOM (450 nm) och turbiditet	40
6.30	CDOM (350 nm) och turbiditet	40
6.31	PAH (FDOM) och turbiditet	41
6.32	CDOM (280 nm) och turbiditet	41
6.33	Koagulerande dos och turbiditet	42
6.34	Permeabilitet för de fyra ultrafiltren och turbiditet	42
6.35	<i>E.coli</i> MPN och turbiditet	43
6.36	FDOM (450 nm) och nederbörd	44
6.37	CDOM (350 nm) och nederbörd	44
6.38	aQY (450) och nederbörd	45
6.39	PAH (FDOM) och nederbörd	45
6.40	CDOM (280 nm) och nederbörd	45
6.41	aQY (360) och nederbörd	46
6.42	Nederbörd och <i>E.coli</i> MPN	46
6.43	Nederbörd och turbiditet	47
A.1	Placering av sonden EXO2 i mätstationen södra Nol.	I
B.1	Flöde i Göta älv	II
B.2	FDOM (450 nm) och flöde	II
B.3	CDOM (350 nm) och flöde	III
B.4	aQY (450) och flöde	III
B.5	PAH (FDOM) och flöde	III
B.6	CDOM (280 nm) och flöde	IV
B.7	aQY (360) och flöde	IV
B.8	Flöde och turbiditet	IV
B.9	Nederbörd och flöde	V
C.1	Rådata och behandlad data för FDOM (450 nm)	VI
C.2	Rådata och behandlad data för CDOM (350 nm)	VII

Nomenklatur

(g.e.) Godtycklig enhet (eng. Arbitrary unit)

CDOM Färgat löst organiskt material (eng. Coloured Dissolved Organic Matter)

DCP Databasplattform (eng. Database Change Protocol)

DOC Löst organiskt kol (eng. Dissolved Organic Carbon)

DOM Löst organiskt material (eng. Dissolved Organic Matter)

FDOM Fluorescerande löst organiskt material (eng. Fluorescent Dissolved Organic Matter)

IFE Inre filtereffekt (eng. Inner Filter Effect)

MPN En metod för att mäta koliforma bakterier och *Escherichia coli* (eng. Most Probable Number)

NOM Naturligt organiskt material (eng. Natural Organic Matter)

PAC Polyaluminiumklorid (eng. Polyaluminium Chloride)

PAH Polycykliska aromatiska kolväten (eng. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon)

TMP Transmembrantryck (eng. Transmembrane Pressure)

TOC Totalt organiskt kol (eng. Total Organic Carbon)

1

Bakgrund

Tillgång till rent vatten för dagligt bruk är något som tas för givet av många människor. Det finns idag många utmaningar och stora brister när det kommer till vattenrening, både i Sverige och i omvärlden. I dessa frågor spelar vattenreningsverk en stor roll då de har som främsta uppgift att se till att det kontinuerligt produceras dricksvatten av högsta kvalitet. Ett steg mot förbättrad övervakning av vattenkvalitet är användning av optiska sensorer *in situ* som kan leverera stora mängder data.

De problem som många gånger finns med optiska sensorer ligger i tolkning av data. Sensorernas mätvärden är ofta både faktiska mätvärden samt estimat och beräkningar baserade på riktiga värden. I det här arbetet kommer data från optiska sensorer för övervakning av vattenkvaliteten vid Kungälvs vattenreningsverk att studeras och jämföras, för att finna bakomliggande orsaker till de avvikelser i data som upptäcks. Vidare kommer även data från en optisk sond i södra Nol att undersökas där Göteborgs Stads förvaltning Kretslopp och vatten är ansvariga för mätstationen. För att kunna göra en analys av sensorernas mätvärden behövs även kompletterande data som inhämtas från SMHI:s mätstation Mollsjönäs D, Kretslopp och vattens mätstation i Garn samt Vattenfalls kraftverk i Lilla Edet. All data som studeras är mätvärden som ger information om olika aspekter av vattenkvaliteten för vattnet i Göta älv som strömmar in i Kungälvs vattenreningsverk. För att visualisera och studera samband mellan mätvärden används programmet MATLAB.

De sensorer som undersöks i arbetet är *Spectrometer Probe V2* från tillverkaren s::can, *EXO fDOM Smart Sensor* av märket YSI och *EnviroFlu-HC* från tillverkaren TriOS. Sensorerna gör mätningar baserat på optiska metoder där utgångspunkten är absorbans och fluorescens av elektromagnetisk strålning. Projektet kommer främst att fokusera på spårning av löst organiskt material (DOM) och polycykliska aromatiska kolväten (PAH). Sensorn *EXO fDOM Smart Sensor* ger data för fluorescerande löst organiskt material (FDOM), sensorn *Spectrometer Probe V2* mäter halten färgat löst organiskt material (CDOM) och sensorn *EnviroFlu-HC* är tillverkad för att detektera olja (PAH) i vatten.

1.1 Kungälvs vattenreningsverk och mätstationen i södra Nol

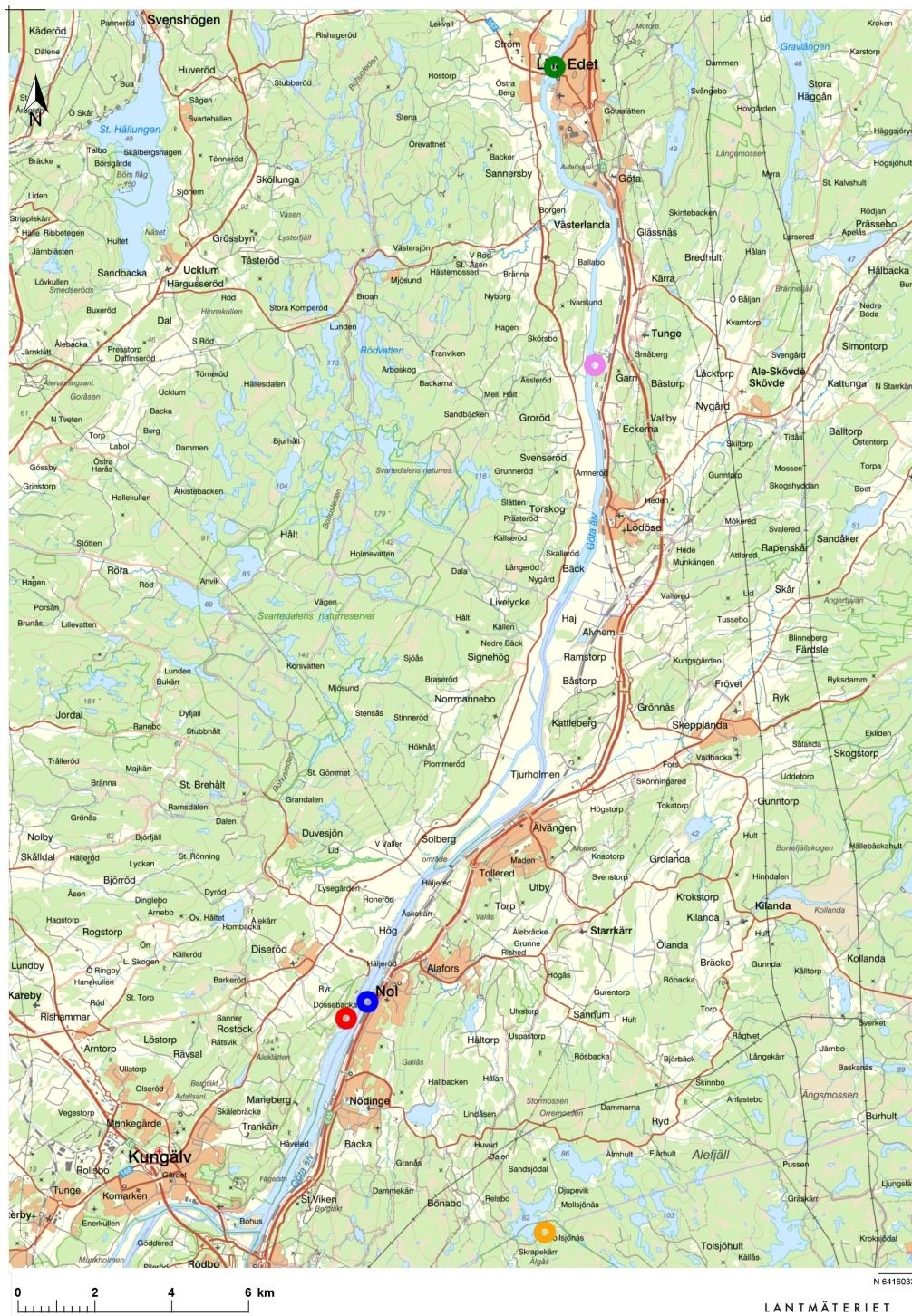
Kungälvs vattenreningsverk är ett välutrustat vattenreningsverk som inte enbart uppfyller standardkraven gällande tillåtna halter av ämnen i dricksvattnet utan även uppfyller dagens

krav gällande exempelvis mikrobiologiska barriärer (NCC, u. å). Idag jämföras produktionen av dricksvatten i ett vattenreningsverk med produktion av livsmedel (Boverket, 2021). Till följd av det dricksvattendirektiv som införlivats i nationell rätt genom Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten så ska dagens producerade dricksvatten ej innehålla mikroorganismer, exempelvis *Escherichia coli*-bakterier (*E. coli*), eller andra ämnen i sådana halter som kan innebära en risk för människors hälsa (LIVSFS, 2017:2).

Det dricksvatten som produceras vid Kungälvsvattenreningsverk genomgår ett flertal olika reningssteg innan det distribueras. Inledningsvis passerar vattnet fyra parallella biofilter fyllda med 100 m³ av materialet Filtralite[®] Pure Mono-Multi. Efter ungefär 60 minuter förs vattnet vidare till en reservoar där det lagras. Efter detta tillsätts en fällningskemikalie, i det här fallet polyaluminiumklorid, PAC. Partiklar i vattnet stabiliseras genom koagulering vilket ger en fällning som bildar droppar av aluminiumhydroxid, en så kallad flockning. När vattnet når nästa steg i filtreringen, ultrafilter med porstorlek 20 nm, kan de partiklar som flockulerats filtreras bort. Vidare förs vattnet till ytterligare fyra parallella filter fyllda med 80 m³ aktivt kol där kontakttiden är 50 minuter (A. Holmes, personlig kommunikation, 23 mars, 2021). Nästa steg i processen är att vattnet alkaliserar med natriumkarbonat samt koldioxid för att höja dess alkalinitet och förs sedan till en resorvar. Slutligen passerar vattnet genom UV-ljus. Vattenreningsverkets nuvarande produktion ligger på cirka 10 000 m³/dygn (A. Holmes, personlig kommunikation, 12 maj, 2021). Reningsverkets kapacitet är 17 280 m³/dygn, dock finns det eventuella planer för att bygga ut kapaciteten, vilket förväntas resultera i en kapacitet på 25 920 m³/dygn (NCC, u. å).

Vid inloppet av vatten från Göta älv till Kungälvsvattenreningsverk finns två av de sensorer som kommer analyseras, *Spectrometer Probe V2* och *EnviroFlu-HC* (A. Holmes, personlig kommunikation, 27 januari, 2021). I södra Nol, vid en fast mätstation (Göta älvs vattenvårdsförbund, u. å), återfinns en sond, EXO2, som består av olika typer av sensorer. I denna sond återfinns sensorn *EXO fDOM Smart Sensor*. Mätstationen utgörs av en bod på en brygga vid älvstranden, dit pumpas vatten och förs genom en enkel konstruktion av PVC-rör. Sonden och dess sensorer är placerade i rören enligt Figur A.1 i Bilaga A och utför kontinuerliga mätningar (N. Strömbeck, personlig kommunikation, 4 februari, 2021).

I Figur 1.1 visas en karta där Kungälvsvattenreningsverk, de tre mätstationerna och Vattenfalls kraftverk är markerade. Den röda markeringen är Kungälvsvattenreningsverk, den gröna är Vattenfalls kraftverk i Lilla Edet, den blåa är mätstationen i södra Nol, den rosa är mätstationen i Garn och den gula är mätstationen Mollsjönäs D.



Figur 1.1: Karta över Kungälv's vattenreningsverk och mätstationerna. Kungälv's vattenreningsverk markeras med röd punkt, Vattenfalls kraftverk i Lilla Edet med grön punkt, mätstationen i södra Noll med blå punkt, mätstationen i Garn med rosa punkt och mätstationen Mollsjönäs D med gul punkt. Hämtad från Lantmäteriet (2021) [Utsnitt av karta över Göta älv med tillägg för mätpunkter]. Återgiven med tillstånd.

2

Målsättning och projektets avgränsningar

Kapitlet inleds med en presentation av projektets syfte, vilket förtydligas med tre mål. Därefter följer ett antal frågeställningar som konkretiserar arbetets fokus. Avslutningsvis beskrivs arbetets omfattning och de avgränsningar som görs gällande sensorer, vilka substanser som behandlas, geografisk placering samt tidsintervallet för inhämtade mätvärden.

2.1 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att jämföra data över DOM och PAH från de optiska sensorerna *Spectrometer Probe V2* och *EnviroFlu-HC* vid Kungälvsvattenrensning samt sensorn *EXO fDOM Smart Sensor* i sonden EXO2 vid södra Nol. Vidare är syftet att undersöka hur förändringar i råvattenkvalitet påverkar dricksvattenbehandlings effektivitet, främst genom jämförelse av data från Kungälvsvattenrensning men även med hjälp av data från olika mätstationer och i viss utsträckning traditionella kemiska mätvärden.

Målen med rapporten är följande:

- Bidra till ökad förståelse kring vad som ligger bakom förändringar i sensorsignalerna över tid.
- Studera eventuella förändringar i hur reningsprocessen utförs när ingen avvikelser i sensordata från Göta älv upptäcks.
- Generera ett MATLAB-skript som kan användas för framtida utvärdering av data.

2.2 Frågeställning

Den huvudsakliga frågan som den här rapporten ämnar besvara är följande:

- Kan optiska sensorer användas som ett effektivt verktyg för att spåra och förutsäga förändringar i råvattenkvalitet?

Vid våtkemiska analyser av vattenprov mäts framförallt halten av olika ämnen i vattnet. Rådata från de optiska sensorerna utgörs däremot av mätvärden för fluorescens och absorbans av partiklar i vattnet. Det innebär att en direkt jämförelse mellan rådata som genereras av

sensorerna och traditionella våtkemiska mätvärden inte är möjlig. Därför analyseras frågan genom att fokusera på sensorernas tillförlitlighet vid spårning av DOM och PAH i vattnet. För att konkretisera huvudfrågan och underlätta projektets fortgång formuleras ett antal delfrågor:

- Hur förhåller sig halten FDOM till CDOM?
- Finns det avvikelser som indikerar på en förändring i vattnets komposition?
- Hur förhåller sig data för PAH till FDOM och CDOM?
- Finns det någon indikation på att en PAH-kontaminering har ägt rum?
- Leder en avvikelse i data till en förändring i dricksvattenbehandlingen effektivitet?

2.3 Avgränsningar

För att uppnå de ovannämnda målen är det nödvändigt att göra vissa avgränsningar. Bland annat krävs en avgränsning för hur många olika typer av sensorer som ska undersökas. I det här arbetet analyseras data från sensorerna *Spectrometer Probe V2*, *EnviroFlu-HC* och *EXO fDOM Smart Sensor*. De här typerna av sensorer mäter absorbans och fluorescens. För vidare analys av eventuella avvikelser i mätvärden från sensorerna behövs kompletterande data. För det ändamålet används data från vattnets reningsprocess, nederbördsdata, *E.coli*-halter, flödesdata, turbiditet samt ett fåtal traditionella kemiska mätningar av halten *E.coli* och andra koliforma bakterier. Andra typer av mätningar skulle också kunna undersökas men rapporten fokuserar endast på absorbans- och fluorescensmätningar samt ovannämnd kompletterande data. Detta på grund av att absorbans- och fluorescensbaserade mätningar är bra metoder för att få värdefull information om koncentrationer av ämnen i vattnet (Avagyan et al., 2014). Kompletterande data är viktigt för att få tillförlitlig information om vattenkvaliteten samt för att kunna utföra bedömningar av den data som sensorerna genererar.

Det finns många kvalitetsaspekter att beakta då råvatten ska användas för produktion av dricksvatten, exempelvis temperatur, halt DOM i vattnet, turbiditet, förekomst av bakterier och dylikt (Göta älvs vattenvårdsförbund, u. å). Några av de mest centrala aspekterna att studera vid produktion av dricksvatten är spårning av DOM och PAH i vattnet. Om råvattnet innehåller stora mängder DOM och PAH kommer det påverka Kungälvsvattenrensningens optimala prestanda vilket kan leda till hög belastning för vattenverkets olika reningssteg (A. Holmes, personlig kommunikation, 2 februari, 2021). Därav kommer undersökningen av data främst innefatta halten DOM och PAH i vattnet som strömmar in i Kungälvsvattenreningsverk.

Arbetet avgränsas även geografiskt då endast Kungälvsvattenreningsverk, Vattenfalls kraftverk i Lilla Edet och mätstationer i södra Nol, Garn och Mollsjönäs behandlas, inte andra vattenreningsverk och mätstationer i Sverige.

En annan avgränsning som görs är valet av tidsintervall som data kommer analyseras där perioden är vald mellan 21 juli 2020 till 26 januari 2021. Denna data är därav aktuell och perioden sträcker sig över ett förhållandevis långt intervall så att en god analys ska gå att utföra.

En sista avgränsning som görs är valet av metod. I det här arbetet används programmet MATLAB för att generera ett skript som kan användas för utvärdering av data. Det finns en del andra programspråk, till exempel Python, som eventuellt hade varit lämpliga för att generera ett välfungerande skript. Valet av programmet MATLAB gjordes på grund av de förkunskaper som redan fanns inom gruppen samt arbetets begränsade tid, då det hade behövts ytterligare tid för att lära sig ett nytt programspråk.

3

Spektroskopi och optiska sensorer vid Kungälvsvattenrensingsverk

Som tidigare nämnt kommer det här arbetet främst fokusera på de tre optiska sensorerna av modellerna *Spectrometer Probe V2*, *EXO fDOM Smart Sensor* och *EnviroFlu-HC*. Samtliga sensorer baserar deras mätmetoder på spektrofotometri i form av absorptionsspektroskopi och fluorescensspektroskopi. Här beskrivs även sensorernas uppbyggnad, funktion och precision.

3.1 Spektroskopi för mätningar med optiska sensorer

De behandlade sensorerna är av typen optiska sensorer och ger mätvärden med hjälp av spektrofotometriska metoder. Spektroskopi är ett samlingsnamn för analytiska metoder som baseras på absorption eller emission av elektromagnetisk strålning vid olika våglängder. Spektroskopi kan användas för att mäta koncentrationer eller strukturer för kemiska ämnen (Harvey, 2016).

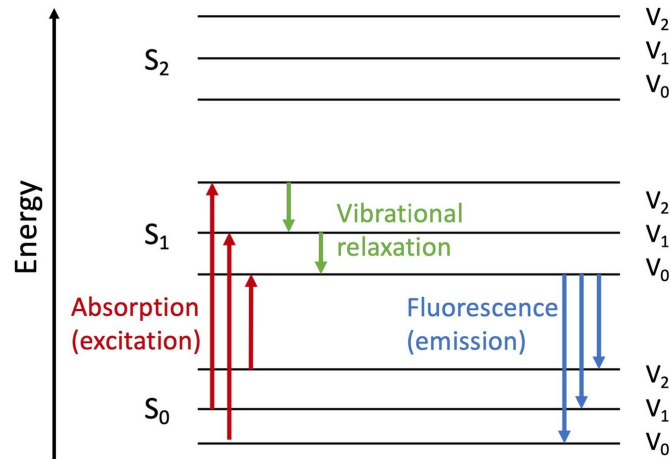
3.1.1 Absorptionsspektroskopi

En typ av spektrofotometrisk metod är absorptionsspektroskopi. Metoden bygger på att elektromagnetisk strålning får passera genom ett prov. De antal fotoner som passerar genom provet minskar genom att energin absorberas av partiklarna i provet, dvs. att strålningens intensitet sjunker. Den här dämpningsprocessen kallas absorption. Om koncentrationen av ett ämne är hög kommer absorbansen att vara större och därmed försvaga ljusstrålen mer än om koncentrationen varit låg. Molekylen eller atomen i provet absorberar energin hos fotonerna vilket ger upphov till att valenselektroner flyttas till en högre energinivå, även kallat exciterat tillstånd. Fenomenet uppstår endast då fotonens energi överensstämmer med energiskillnaden mellan valenselektronens grundtillstånd och ett högre energitillstånd. För varje molekyl eller atom absorberas strålningen vid en specifik våglängd. Därför kan en karakteristisk våglängd väljas ut för att undersöka ett visst ämne (Harvey, 2016).

Ett exempel på absorptionsspektroskopi som kan användas för att ta reda på koncentrationen av ett ämne är UV/VIS-spektroskopi. Principen bakom den analytiska metoden är att den elektromagnetiska strålning som passerar genom provet har ett våglängdsintervall mellan det ultravioletta- och det synliga ljuset (Harvey, 2016).

3.1.2 Fluorescensspektroskopi

Inom spektroskopi finns det ytterligare en metod som kallas fluorescensspektroskopi. Efter att ett prov absorberat energi från någon typ av källa, exempelvis elektromagnetisk strålning i form av synligt ljus, rör sig elektroner från dess grundenerginivå till ett exciterat tillstånd. Det exciterade tillståndet varar under en begränsad tid, vanligtvis 1–10 nanosekunder, och överskottsenergin som genereras då elektronerna rör sig ner genom vibrationsenerginivåer, S_1-V_2 och S_1-V_1 i Figur 3.1, omvandlas vanligtvis till termisk energi vilket ger ett relaxerat singlett-exciterat tillstånd, S_1-V_0 , från vilket fluorescensemission härrör (Wiederschain, 2011).



Figur 3.1: Jablonski-diagram som illustrerar de processer som är involverade i skapandet av ett exciterat elektroniskt singlett-tillstånd genom optisk absorption och efterföljande emission av fluorescens. Hämtad från 'Jablonski Diagram for EEM' [Bild], av AustiaP, 2020, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jablonski_Diagram_for_EEM.jpg. CC BY-SA 4.0

Den fluorescerande strålningen uppstår då elektronerna återvänder till någon av de olika vibrationsenerginivåerna i dess grundtillstånd S_0 och därmed släpper ut energi i form av fotoner. Ett provs fluorescensspektrum har generellt sett längre våglängder än dess absorptionsspektrum på grund av den energiförlust som sker i form av termisk energi. Förlusten kan registreras som ett fluorescensspektrum genom att mäta intensiteten av emissionen som en funktion av den våglängd som antingen emitterar eller exciterar provet (Harvey, 2016).

3.2 Optiska sensorer vid Kungälvsvattenrensning och deras funktion

Data som analyseras i den här rapporten genereras av tre sensorer. *Spectrometer Probe V2* gör mätningar med hjälp av absorptionsspektroskopi och mätningar från *EnviroFlu-HC* samt *EXO fDOM Smart Sensor* är baserade på fluorescensspektroskopi. Nedan följer en teknisk beskrivning av de tre mätinstrumenten.

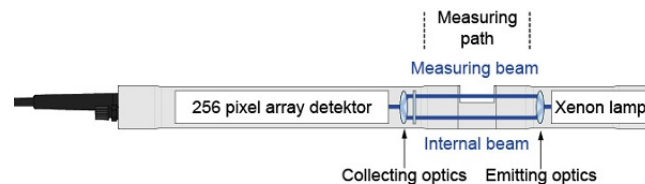
3.2.1 s::can - *Spectrometer Probe V2*

s::can-sensorn, som visas i Figur 3.2, är av modellen *Spectrometer Probe V2* och utför mätningar av absorptionspektrum för upplösta ämnen i vattnet. Sensorn använder UV/VIS-spektroskopi genom att ljus sänds ut över ett intervall av våglängderna 220 - 720 nm och detekteras mellan våglängderna 220 - 390 nm (s::can Messtechnik GmbH, 2011). Utifrån sådana mätningar erhålls information om CDOM i vatten.



Figur 3.2: s::can av modell *Spectrometer Probe V3*. En optisk sensor som gör mätningar med UV/VIS-spektroskopi. Bilden representerar den senaste modellen av s::can-sensorn som har samma utseende som modell *Spectrometer Probe V2*. Hämtad från s::can Messtechnik GmbH. (u. å). *spectro::lyser V3*. Hämtad 29 mars 2021, från <https://www.s-can.at/products/spectrometer-probes>. Återgiven med tillstånd.

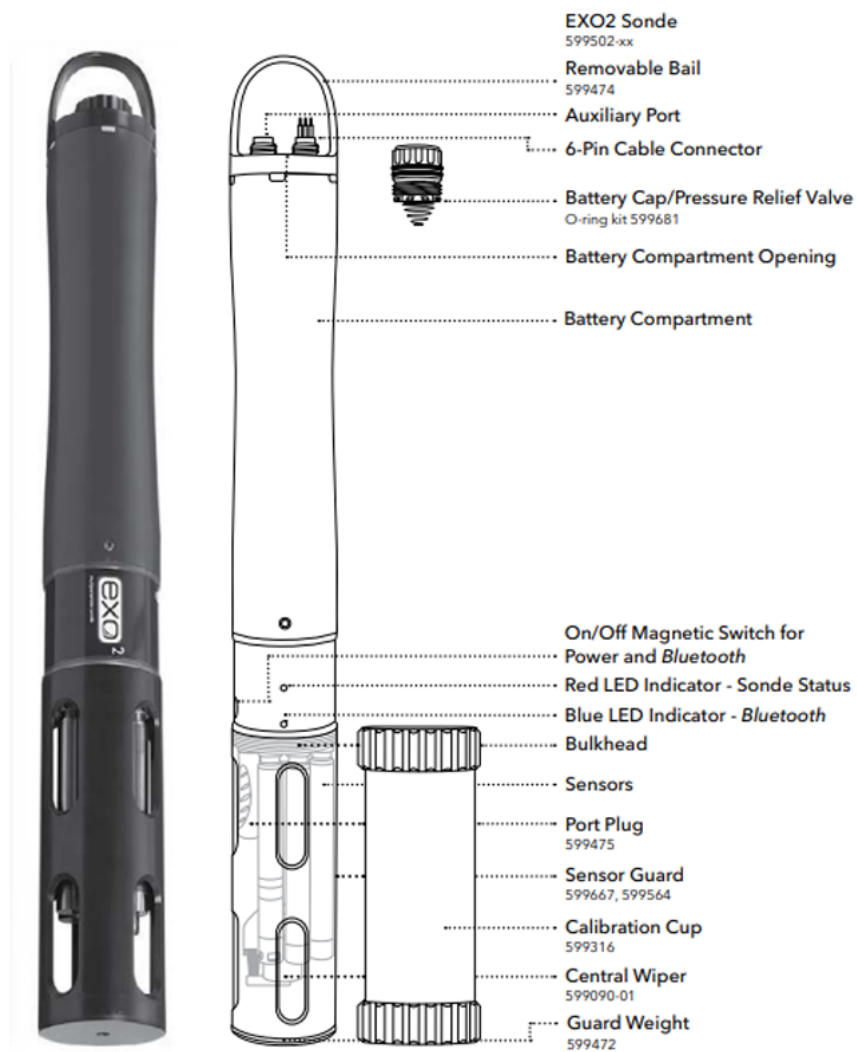
Enheten består av tre huvuddelar: en komponent för emittering av ljus, en för mätning samt en mottagare. Ljuskällan i komponenten för emittering utgörs av en xenonlampa. Sensorn har en mätkomponent bestående av två ljusstrålar, en stråle som passerar mellan två mätinstrument där ljuset interagerar med provet, den andra strålen förs genom en intern jämförelsesektion. Syftet med det är att kompensera för eventuella störningar i mätprocessen. Mottagaren består av en detektor och driftelektronik. I detektorn fångas ljuset upp och delas upp i 256 olika våglängder. Driftelektroniken möjliggör bland annat processen som sker i mätinstrumentet och de steg som krävs för att beräkna fram mätvärden (s::can Messtechnik GmbH, 2011). I Figur 3.3 visas en schematisk bild över sensorsystemet.



Figur 3.3: En schematisk bild över *Spectrometer Probe V2* och dess huvudkomponenter bestående av en ljuskälla, ett mätinstrument och en detektor. Hämtad från s::can Messtechnik GmbH. (u. å). *spectro::lyser V3*. Hämtad 29 mars 2021, från <https://www.s-can.at/products/spectrometer-probes>. Återgiven med tillstånd.

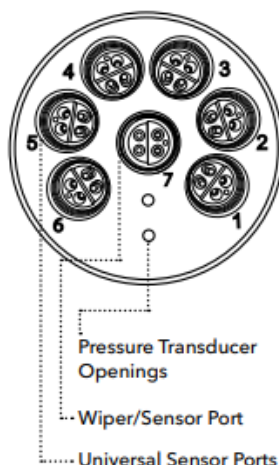
3.2.2 EXO2 - *EXO fDOM Smart Sensor* och *EXO Turbidity Smart Sensor*

EXO2 är en sond som består av sju sensorer där varje sensor mäter olika parametrar med hjälp av optiska, elektrokemiska eller fysiska detektionsmetoder. Det leder till att sensorerna kan samla in en stor mängd information om olika kvalitetsaspekter i vattnet, till exempel konduktivitet, FDOM, turbiditet, temperatur, pH och dylikt. Sonden samlar in, lagrar och överför data till en datainsamlingsplattform (DCP) (Xylem, 2020). Sondens uppbyggnad visas i Figur 3.4 och 3.5.



Figur 3.4: EXO2-sondens uppbyggnad samt tillhörande komponenter och funktioner. Hämtad från Xylem. (2020). *EXO User Manual: Advanced Water Quality Monitoring Platform* [Produktblad]. <https://www.ysi.com/file%20library/documents/manuals/exo-user-manual-web.pdf>. Återgiven med tillstånd.

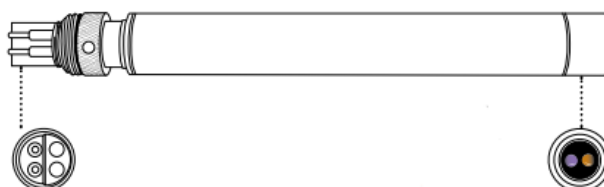
EXO2 Bulkhead



Figur 3.5: Bilden visar EXO2-sondens sju olika sensorportar. Hämtad från Xylem. (2020). *EXO User Manual: Advanced Water Quality Monitoring Platform* [Produktblad]. <https://www.yssi.com/file%20library/documents/manuals/exo-user-manual-web.pdf>. Återgiven med tillstånd.

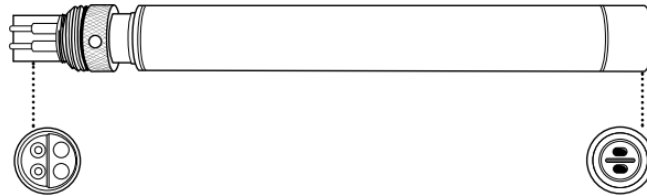
På mätstationen i södra Nol är sonden EXO2 kopplad till en kopplingsbox som heter *EXO DCP-SOA2*. I den omvandlas mätdata till tre olika dataformat: RS-232, SDI-12 och USB. RS-232-data samlas i Kretslopp och vattens styrsystem och uppdateras kontinuerligt. Data förs sedan vidare till en central enhet på Kretslopp och vatten. SDI-12-data förs till en datalogger, *WaterLOG Storm 3*, som lagrar data vilken skickas till datainsamlingsplattformen och molntjänsten *Hydrosphere* samt utför beräkningar för estimerade mätvärden. Data i USB-porten används endast vid service av sonden (N. Strömbeck, personlig kommunikation, 4 februari, 2021).

En av sensorerna i sonden EXO2 mäter data för FDOM. Den heter *EXO fDOM Smart Sensor* och ger mätvärden med hjälp av UV-fluorescens (YSI, u. å), se Figur 3.6. Sensorn har ett bandpass för excitationstvåglängder på 365 ± 5 nm och 480 ± 40 nm för emissionsvåglängder (Xylem, 2020). Ljuskällan består av en LED-lampa (N. Strömbeck, personlig kommunikation, 6 april, 2021).



Figur 3.6: *EXO fDOM Smart Sensor*. En av de sju sensorerna i sonden EXO2. Sensorn mäter FDOM med hjälp av UV-fluorescens. Hämtad från Xylem. (2020). *EXO User Manual: Advanced Water Quality Monitoring Platform* [Produktblad]. <https://www.yssi.com/file%20library/documents/manuals/exo-user-manual-web.pdf>. Återgiven med tillstånd.

Sonden EXO2 har även en sensor som mäter turbiditet. Den heter *EXO Turbidity Smart Sensor* och visas i Figur 3.7. Sensorn har ett bandpass för excitation svåglängder på 860 ± 15 nm och ljuskällan består av en lampa som sänder ut ljus i området kring infraröda våglängder. Sensorn gör turbiditetsmätningar indirekt genom att mäta koncentrationen av suspenderade partiklar i vattnet genom att skicka in ljus i en provlösning och därefter mäta det ljus som sprids av partiklarna i provet (Xylem, 2020).



Figur 3.7: *EXO Turbidity Smart Sensor*. En av de sju sensorerna i sonden EXO2. Sensorn ger data för turbiditet genom att mäta det ljus som sprids av närvarande partiklar i vattnet. Hämtad från Xylem. (2020). *EXO User Manual: Advanced Water Quality Monitoring Platform* [Produktblad]. <https://www.yesi.com/file%20library/documents/manuals/exo-user-manual-web.pdf> Återgiven med tillstånd.

3.2.3 FP360 - *EnviroFlu-HC*

Sensorn FP360 är av modellen *EnviroFlu-HC* och kan ses i Figur 3.8. Enheten är en UV-fluorimeter. Till skillnad från sensorer som gör mätningar med konventionella infraröda spridnings- eller absorptionsprocesser så är den här sensorns mätprincip mycket mer känslig. På grund av den höga känsligheten kan den mäta koncentrationen av PAH om det finns närvarande och på så sätt detektera olja i vatten med hjälp av UV-fluorescens (TriOS Mess- und Datentechnik GmbH, 2019).

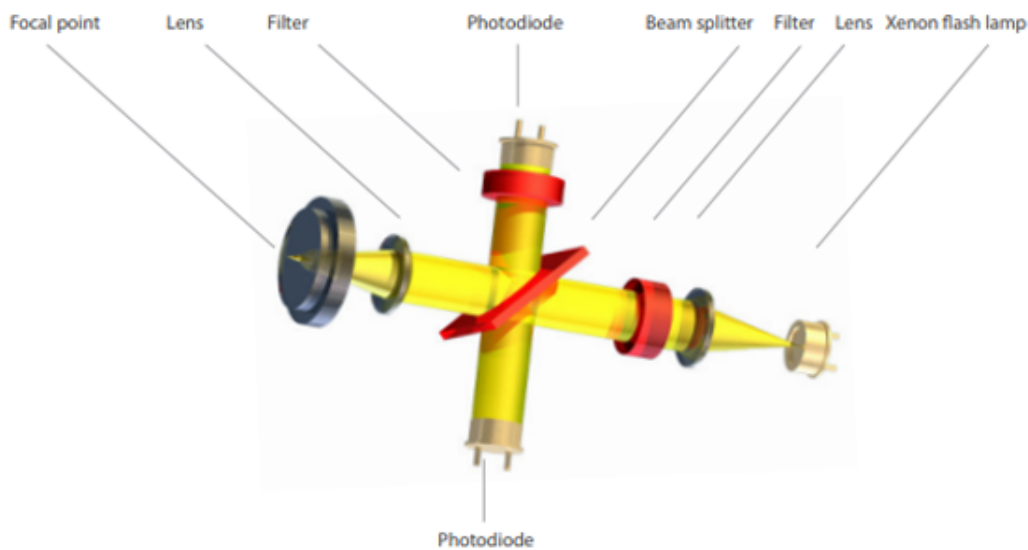


Figur 3.8: FP360-sensor av modell *EnviroFlu-HC*. En optisk sensor som kan detektera olja i vatten med hjälp av UV-fluorescens. Hämtad från TriOS Mess- und Datentechnik GmbH. (u. å). *enviroFlu*. Hämtad 29 mars 2021, från <https://www.trios.de/en/enviroflu.html>. Återgiven med tillstånd.

Sensorn har en beläggning som minskar nedsmutsning av det optiska mätfönstret och ljuskällan utgörs av en xenonlampa (TriOS Mess- und Datentechnik GmbH, u. å). Lampan sänder ut ljus med ett våglängdsintervall på 254 ± 10 nm och detektorn består av en fotodiod som mäter vid våglängderna 360 ± 50 nm (J. Arvidsson, personlig kommunikation, 10 maj, 2021).

Genom att direkt mäta fluorescens i ett prov kan sensorn detektera PAH. Om det finns PAH i provet kommer elektronerna i partiklarna att exciteras av xenonlampan och våglängden som krävs för excitationen väljs av ett interferensfilter. En liten del av strålningen reflekteras av ett dikroiskt filter där ljusstrålen delas upp till två strålar, vilka därefter kan användas som referenssignal för att utvärdera förändringar i excitationssenergi (TriOS Mess- und Datentechnik GmbH, 2019).

Excitationsstrålen fokuseras med hjälp av en lens. Det fluorescerande ljuset samlas upp av linsen och reflekteras av den dikroiska stråldelaren på grund av den jämförelsevis längre våglängden, sedan detekteras den av en UV-känslig fotodiode. Ett interferensfilter med mittvåglängden 360 nm används för att blockera det spridda ljuset. Det finns även en komponent som eliminerar påverkan från det befintliga ljuset från omgivningen (TriOS Mess- und Datentechnik GmbH, 2019). I Figur 3.9 visas de olika delarna i sensorn.



Figur 3.9: En schematisk bild över huvudkomponenterna i *EnviroFlu-HC*. Bilden beskriver en övergripande konstruktion över mätprincipen. Hämtad från TriOS Mess- und Datentechnik GmbH. (u. å). *enviroFlu*. Hämtad 29 mars 2021, från <https://www.trios.de/en/enviroflu.html>. Återgiven med tillstånd.

3.2.4 Precision hos optiska sensorer

För samtliga ovannämnda sensorer är precisionen för uppmätning av data generellt väldigt hög. Sensorerna utgörs av ljuskänsliga dioder som har extremt hög noggrannhet. Ljuskällorna hos sensorerna är stabiliserade och övervakade, samt eventuella komensationer för drift sker automatiskt (N. Strömbeck, personlig kommunikation, 29 april, 2021).

Däremot är precisionen hos optiska mätinstrument beroende av två viktiga faktorer, en regelbunden kalibreringsrutin som utförs på ett korrekt sätt och en återkommande rengöring av sensorerna. En periodisk rutin för inspektion av sensorerna bör också uträttas för att kunna upptäcka eventuella problem såsom läckage (Xylem, 2020). Därmed kan sådana problem åtgärdas snarast.

4

Beskrivning av mätvärden

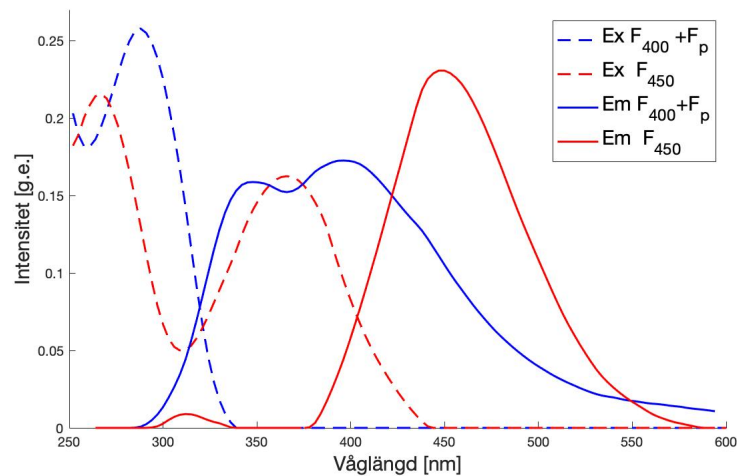
Sensorerna *Spectrometer Probe V2*, *EXO fDOM Smart Sensor* och *EnviroFlu-HC* ger olika typer av data och estimerade värden för vattnet i Göta älv och vid intaget till Kungälvsvattenreningsverk. I det här kapitlet presenteras de typer av data som inkluderas i analysen och hur den måste behandlas och korrigeras innan en korrekt analys går att utföra. Från sonden EXO2 erhålls främst data över FDOM från *EXO fDOM Smart Sensor*, men även kompletterande data för turbiditet och temperatur samt estimerade värden erhålls. Kompletterande turbiditetsdata kommer från sensorn *EXO Turbidity Smart Sensor*. *Spectrometer Probe V2* ger data för CDOM och *EnviroFlu-HC* ger mätvärden för PAH.

4.1 Löst organiskt material och polycykliska aromatiska kolväten

Naturligt organiskt material, NOM, är en viktig komponent i råvatten. NOM bildas till följd av interaktioner mellan bio- och geosfär samt vattnets kretslopp. Vad NOM består av beror på de biokemiska cyklerna i det aktuella geografiska området och är en viktig faktor vid vattenrening. NOM karaktäriseras delvis av halten totalt organiskt kol, TOC, samt av löst organiskt kol, DOC (Sillanpää, 2013). DOC är en delmängd i det som kallas för löst organiskt material, DOM. DOM består av en blandning av olika organiska substanser med varierande komplexitet. En allmänt accepterad definition säger att DOM utgörs av det organiska material i en vattenlösning som har passerat ett filter med porstorlek 0,45 μm i diameter (Frimmel & Abbt-Braun, 2009). CDOM och FDOM är optiska mätvärden som används för att kvantifiera och studera kompositionen av DOM. CDOM är den del av DOM som absorberar ljus och FDOM är den del av CDOM som emitterar ljus i form av fluorescens (Ulliman et al., 2020).

Enligt en kartläggning av fluorescensmaximum för olika DOM-komponenter av Murphy et al. (2018) kan fluorescenttopparna kategoriseras i minst fem grupper som inkluderar: F_p , F_{400} , F_{420} , F_{450} och F_{520} . Kartläggningen baseras på vilka excitation- och emissionsvåglängder som fluorescensstopparna motsvaras av. Indexen i benämningen av kategorierna står för medianen av emissionsvåglängderna, avrundat till närmaste tiotal. Gruppen F_{450} som har fluorescensmaximum runt emissionsvåglängden 450 nm motsvaras av en sekundär excitationvåglängd runt 370 nm, se F_{450} i Figur 4.1. I det här området uppvisar fluorescensen starka signaler och mätinstrument presterar bra (Wünsch et al., 2019). Figuren visar även att $F_{400}+F_p$ som har fluorescensmaximum inom intervallet 340-410 nm motsvaras av en ex-

citationsvåglängd runt 290 nm, se $F_{400}+F_p$ i Figur 4.1.



Figur 4.1: Excitations- och emissionsintensiteter vid olika våglängder för DOM-grupperna $F_{400}+F_p$ samt F_{450} . Framtagen med data från Murphy, K. R., Timko, S. A., Gonsior, M., Powers, L. C., Wunsch, U.J & Stedmon, C.A. (2018). Photochemistry Illuminates Ubiquitous Organic Matter Fluorescence Spectra. *Environmental Science and Technology*. 52(19), 11243–11250. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02648>. Återgiven med tillstånd.

Traditionellt sett kan FDOM-komponenternas toppar även karaktäriseras och delas in i ett antal grupper baserat på excitations- och emissionsvåglängder; proteinliknande, humusliknande och marint humusliknande komponenter (Coble, 1996), se Tabell 4.1.

Tabell 4.1: Karaktärisering av FDOM-komponenter genom excitations- och emissionstoppar, samt deras beteckningar. Hämtad från Coble, P. G. (1996). Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy. *Marine Chemistry*, 51(4), 325–346. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(95\)00062-3](https://doi.org/10.1016/0304-4203(95)00062-3)

Topp	Ex _{max} (nm)	Em _{max} (nm)	Kommentar
B	275	310	Tyrosin-liknande, proteinliknande
T	275	340	Tryptofan-liknande, proteinliknande
A	260	280-460	Humusliknande
M	312	380-420	Marina humusliknande
C	350	420-480	Humusliknande

Förutom de ovannämnda karaktäriseringar av komponenter i FDOM kan halten *E.coli* vara en komponent som möjligen kan uppmätas som FDOM. Undersökningar visar att under metabolismprocessen så producerar *E.coli* ämnet nikotinamidadenindinukleotid, NAD^+ , vilket emitterar ljus runt 440 nm i form av fluorescens (Bulycheva et al., 2014). Därav är det möjligt att fluorescensbaserade optiska sensorer kan notera förekomst av *E.coli*.

Ett sätt att studera hur DOM-kompositionen i vattnet varierar är genom kvoten *apparent quantum yield* (aQY), se ekvation 4.1. Kvoten ger ett mått på hur stor andel av CDOM som utgörs av FDOM, vilket skiljer sig åt mellan olika DOM-komponenter (Wünsch et al., 2015).

$$aQY = \frac{FDOM}{CDOM} \quad (4.1)$$

Polycykliska aromatiska kolväten, PAH, är en grupp ämnen som är uppbyggda av två eller fler sammanbundna aromatiska ringar. De förekommer bland annat i fossila bränslen och oljeprodukter, men kan också bildas oavsiktligt när organiska material hettas upp eller förbränns ofullständigt (Livsmedelsverket, 2020b; Naturvårdsverket, 2020). På grund av att PAH-detektionen är baserad på fluorescensmätningar kan mätvärden genereras även om vattnet är fritt från PAH. Fluorescensen som utgör grunden för mätvärdet har då sitt ursprung i FDOM.

4.2 Temperatur, turbiditet och inre filtereffekt vid optiska mätningar

En vattentäkts temperatur påverkar hastigheten för många kemiska reaktioner. En hög temperatur kan bland annat leda till att mer klor förbrukas och mer klororganiska föreningar bildas. En ökad mikrobiologisk aktivitet kan också noteras vid högre temperaturer (Livsmedelsverket, 2020a). Temperaturen är även en viktig faktor att ta hänsyn till vid optiska mätningar baserat på fluorescens. Vid högre temperaturer avtar ett systems förmåga att fluorescera till följd av att fler atom- och molekylovergångar kan ske. Därmed minskar antalet elektroner i det exciterade tillståndet och excitationenergin avges i andra former än fluorescens (Schulman, 2020), exempelvis värme eller kinetisk energi.

Ytterligare en faktor som är relevant vid undersökningar med optiska sensorer är turbiditet. Turbiditet är ett mått på klarhet hos vätskor (Morgan et al., 2006). I naturen återfinns vatten ofta i en blandning av fasta ämnen och vätska som inte är lösliga med varandra. Systemet, bestående av vatten och fasta partiklar, kallas suspension och den fasta materialen sägs vara dispergerad i vätskan (Holmberg, 2007). Vattnet upplevs grumligt till följd av att de dispersa partiklarna sprider infallande ljus. Materialen i suspensionen är vanligen lera, finfördelade organiska och inorganiska partiklar samt mikroorganismer (Morgan et al., 2006).

När ljus och partiklar i en suspension interagerar kan ljuset absorberas av partiklarna eller spridas. Elektroner i partiklarna har en naturlig vibration, om det infallande ljuset har samma frekvens absorberas ljusets energi av elektronerna. Elektronerna vibrerar vid denna frekvens och interagerar med de omkringliggande elektronerna och omvandlar vibrationerna till värme. Till följd av denna process förlorar det inkommande ljuset intensitet. Om ljuset

har en annan frekvens än atomernas kommer ljuset istället spridas. Partiklarna blockerar ljusets möjlighet att fritt transmitteras genom ett prov (Fairuz & Zubir, 2015). Fenomenet gör att absorbans- och fluorescensmätningar påverkas, färre elektroner kan exciteras vilket gör att mindre fluorescens än väntat uppmäts. När ljusets sprids istället för att absorberas medför det även att absorbansmätningarna får högre värden än förväntat.

Vid användning av sensorer baserade på fluorescensspektroskopi är den inre filtereffekten, IFE, viktig att ta i beaktning. Fluorescensens intensitet ökar linjärt med absorbans eller koncentration av ett prov upp till en gräns där partiklar i provet istället absorberar excitationstrålar och den emitterade fluorescensen (Kothawala et al., 2013). Den uppmätta fluorescensen blir därför mindre än förväntat.

4.2.1 Korrigering vid fluorescensmätningar

På grund av de problem som höga temperaturer och turbiditet kan orsaka vid optiska mätningar, främst vid fluorescensbaserade alternativ, kan olika typer av justeringar appliceras på data som erhålls. För att korrigera temperaturpåverkan vid fluorescensmätningar föreslår Watras et al. (2011) att ekvation 4.2 tillämpas.

$$CDOM_r = \frac{CDOM_m}{[1 + \rho(T_m - T_r)]} \quad (4.2)$$

I Watras et al. (2011) betecknar $CDOM$ den fluorescerande delen av $CDOM$, som kallas $FDOM$. Temperaturkoefficienten anges som ρ och temperatur som T , indexen m och r står för uppmätt respektive referens.

En alternativ korrigering av temperatur för fluorescensbaserad data från EXO2, där också turbiditet och den inre filtereffekten tas i beaktning, föreslås av Hoffmeister et al. (2020) och presenteras i ekvation 4.3 samt 4.4.

$$FDOM_{corrtemp} = FDOM_{meas} + \rho \frac{(T_{meas} - 25)}{r_p(FNU)} \quad (4.3)$$

$$FDOM_{corr} = \frac{FDOM_{corrtemp}}{r_d(A_{254})} + FDOM_{corrtemp} \quad (4.4)$$

I ovanstående ekvationer betecknar $FDOM_{corrtemp}$ temperatur- och turbiditetskorrigerad $FDOM$ och ρ är den temperaturspecifika fluorescenskoefficienten. Den uppmätta vattentemperaturen beskrivs av T_{meas} och r_p samt r_d är funktioner för korrektion av lösta och suspenderade substanser, dessa är specifika för instrumentet. $FDOM_{corr}$ står för den data som korrigerats för temperatur, turbiditet och inre filtereffekt (Hoffmeister et al., 2020).

Funktionen r_d beskrivs enligt Kothawala et al. (2013) av ekvation 4.5

$$F_{\lambda_{Ex}, \lambda_{Em}}^{IFECorr} = F_{\lambda_{Ex}, \lambda_{Em}}^{Obs} 10^{0.5(A_{\lambda_{Ex}} + A_{\lambda_{Em}})} \quad (4.5)$$

där r_d betecknas med den korrigerade fluorescensens intensitet, $F_{\lambda_{Ex}, \lambda_{Em}}^{IFECorr}$. Den observerade fluorescensens intensitet beskrivs av $F_{\lambda_{Ex}, \lambda_{Em}}^{Obs}$. Absorbansen, A_{λ} , tas vid excitations- och emissionsvåglängderna för instrumentet vilket visas med index Ex respektive Em (Kothawala et al., 2013).

4.3 Koagulerande dos och permeabilitet

Den data som tillhandahålls från reningsprocessen i Kungälvsvattenrensingsverk är UV₂₅₄-absorbans, koagulerande dos och de fyra ultrafiltrens permeabilitet. Mätvärdena utgör grunden för en bedömning av reningsprocessens effektivitet. UV₂₅₄-absorbans är ett mått på absorbans vid våglängden 254 nm. I Kungälvsvattenrensingsverk används UV₂₅₄-absorbans som ett substitut för mängden NOM. Under reningsprocessen mäts UV₂₅₄-absorbans både innan och efter att vattnet har passerat genom ultrafiltermembranen. Mätvärden är lokalt kalibrerade med labinstrument (A. Holmes, personlig kommunikation, 7 mars, 2021).

Den koagulerande dosen står för den mängd polyaluminiumklorid, PAC, som tillsätts i vattnet. Dosen kontrolleras genom ett automatiskt system som baseras på uppmätt UV₂₅₄-absorbans. En hög absorbans leder till en höjning av dosen och en låg absorbans till en minskning (A. Holmes, personlig kommunikation, 7 mars, 2021). Basdosen är 1 mg/L och den maximala dosen 2,5 mg/L (A. Holmes, personlig kommunikation, 15 april, 2021).

Ett membrans permeabilitet syftar på dess genomsläpplighet av en vätska. En hög permeabilitet innebär att filtreringen är enkel, en låg permeabilitet betyder att filtreringen blir svårare. Permeabiliteten beskriver förhållandet mellan flux och det applicerade trycket (Lidén, 2020). Parametern tillämpas för att studera hur beläggningar på membranet varierar över tid. Permeabiliteten beräknas enligt ekvation 4.6

$$Permeabilitet = \frac{flux}{TMP} \quad (4.6)$$

där $flux$ är ett mått på antal liter vatten som passerar per membranyta under en timme och har enheten L/hm². Transmembrantrycket, TMP , är tryckskillnaden mellan trycket från den sida där vattnet matas in och trycket från sidan där det filtrerade vattnet rinner ut. TMP kan ses som en indikator på hur bra membranet presterar och anges i enheten bar. På grund av att TMP är känsligt för temperatur använder Kungälvsvattenrensingsverk viskositets- och densitetsdata för att normalisera TMP till 20°C. Det leder till att permeabilitetsdata endast varierar med avseende på beläggningar på membranet. Permeabilitetsdata består av mätningar från ultrafiltermembranen som används på reningsverket (A. Holmes, personlig kommunikation, 7 mars, 2021; Lidén, 2020).

5

Metod

Till grund för arbetets metod ligger litteraturstudier tillsammans med insamlad mätdata, främst från sensorerna *Spectrometer Probe V2* och *EnviroFlu-HC* vid Kungälvs vattenreningsverk och sensorn *EXO fDOM Smart Sensor* från mätstationen i södra Nol. Även mätdata från andra eventuella påverkansfaktorer tas i beaktning och jämförs med mätdata från de ovannämnda sensorerna. Viss mätdata behövde korrigeras innan grafer konstruerades i MATLAB, vilka i senare delar av rapporten analyseras.

5.1 Litteraturstudier

Litteraturstudier utfördes i syfte att öka förståelse om hur de optiska sensorerna används för att analysera DOM, samt hur de kan appliceras i ett vattenreningsverk. Sökningar efter artiklar och dylikt gjordes framförallt i databaser som *ScienceDirect*, *Wiley Online Library* och *Google Scholar* via Chalmers bibliotek. Litteraturen visade sig vara bristfällig gällande tekniken bakom sensorernas funktion, vilket innebär att produktmanualer från tillverkarna utgör grunden för den tekniska informationen.

Under arbetets gång noterades vilka faktorer som direkt eller indirekt kunde tänkas ha en påverkan på den data som skulle analyseras. Faktorer som ansågs intressanta att inkludera i analysen var turbiditet, temperatur, nederbörd, flöde och halten *E.coli*. För att kunna undersöka dessa faktorer behövdes ytterligare litteraturstudier göras. Det behövdes också hittas kontaktpersoner som kunde tillhandahålla dessa kompletterande mätvärden.

Utöver publicerad litteratur är det en betydande del information som erhållits via personlig kommunikation, dels genom digitala möten och dels genom skriftlig kommunikation via e-post. Det gäller framför allt information om den specifika reningsprocessen, samt tillhörande data, från Kungälvs vattenreningsverk och information om sonden EXO2 på mätstationen i södra Nol.

5.2 Insamling av data

Den tidsperiod som undersöktes valdes på grund av att en analys av sensordata kräver en stor mängd mätvärden över ett relativt långt tidsintervall för att kunna hitta eventuella avvikelser. Valet av data från tidsperioden 21 juli 2020 - 26 januari 2021 gjordes även på grund av att det fortfarande är relevant och aktuell data. Det gjorde att det även fanns

möjlighet att hitta kompletterande data och information om de avvikelser och intressanta punkter som undersöktes vidare.

För att med god precision kunna avgöra skillnader i data under tidsspänn på bara några timmar användes data från sensorerna som mättes med korta intervall om två till fem minuter. Data från *Spectrometer Probe V2* och fluorescensmätningarna från *EnviroFlu-HC* mättes med två minuters mellanrum, medan data från *EXO fDOM Smart Sensor* togs var femte minut. Därav kunde även felaktiga mätvärden uteslutas lättare.

Vidare undersöktes endast ett fåtal våglängder för sensorerna. För FDOM-data från *EXO fDOM Smart Sensor* hämtades mätvärden från molntjänsten *HydroSphere* som hade uppmätts vid våglängden 450 nm och data från *EnviroFlu-HC* hade uppmätts vid 360 nm, dessa våglängder är specifika för respektive sensor. Baserat på excitation-emissionmatrisen i Murphy et al. (2018) valdes våglängderna 350 nm och 280 nm för data från *Spectrometer Probe V2*. Figur 4.1 visar att de valda våglängderna ligger inom intervallen för excitationmaximum. Samtlig data från *Spectrometer Probe V2* och *EnviroFlu-HC* tillhandhölls av ansvarig på Kungälvsvattenrensning. Idag temperaturkorrigeras de fluorescensbaserade mätningarna från *EnviroFlu-HC* i enlighet med Watras et al. (2011) förslag, se ekvation 4.2. Ovannämnda dataset för de tre sensorerna samt de beteckningar som används i resultatet summeras i Tabell 5.1.

Tabell 5.1: Beteckningar för dataset.

Sensor	Dataset	Beteckning
<i>EXO fDOM Smart Sensor</i>	FDOM	FDOM (450 nm)
<i>EnviroFlu-HC</i>	PAH	PAH (FDOM)
<i>Spectrometer Probe V2</i>	CDOM	CDOM (280 nm), CDOM (350 nm)

För att skilja de två olika aQY-kvoterna åt används de beteckningar som presenteras i Tabell 5.2.

Tabell 5.2: Beteckningar för aQY.

aQY	Beteckning
$\frac{FDOM(450\text{ nm})}{CDOM(350\text{ nm})}$	aQY (450)
$\frac{PAH(FDOM)}{CDOM(280\text{ nm})}$	aQY (360)

Under arbetets gång konstaterades det att en del kompletterande data kräves för att göra en vidare analys av data från sensorerna. Därav inhämtades dygnsvärden för nederbörd i området under den valda tidsperioden från SMHI:s mätstation Mollsjönäs D via institutets hemsida. Ytterligare kompletterande data över flöden i Göta älv erhöles genom kontakt med Vattenfall i Lilla Edet. Data för *E.coli* vid mätstationen i Garn erhöles via kontakt med Kretslopp och vatten och data för turbiditet samt temperatur kunde hämtas från sonden EXO2 vid mätstationen i södra Nol.

5.3 Kommandon i MATLAB

Här beskrivs några av de viktigaste MATLAB-kommandon som användes i arbetet för att åstadkomma så korrekta grafer av mätdata som möjligt. För borttagning av avvikelser såsom störningar i mätdata användes kommandot `smoothdata`. Följande syntax för kommandot tillämpades:

```
B = smoothdata(A, method, window)
```

där `A` är en matris innehållande mätdata, `method` beskriver vilken typ av `window` som används och `window` är ett mått på det rörliga fönster som används och beror av den valda `method`. Som `method` används `movemedian`, vilken ger ett rörligt fönster som beror av medianen av den bestämda fönsterstorleken.

För att interpolera tidsvektorer för FDOM (450 nm) och PAH (FDOM) mot CDOM användes kommandot `interp1` med syntax

```
q = interp1(x, v, xq)
```

där `x` är en tidsvektor, `v` är korresponderande mätdata till tidsvektorn `x` och `xq` är den tidsvektor som `x` skulle interpoleras mot.

Kommandot `datenum` användes för att göra om matriser som innehåller `datetime`, vilka är datum angivna i år, månad, dag, timme och minut, till att bli unika värden vilka användes i `interp1`.

5.4 Genomförande

Som en del i arbetet att skapa ett skript som kan användas för framtida analyser inleds koden i MATLAB med att standardisera sökvägen till den mappen där användaren har datafilerna som ska analyseras. Genom att definiera en variabel som är av typen *string* och innehåller sökvägen till mappen räcker det att senare ange konstanten plus filnamnet.

Därefter importerades de mätvärden som ansågs värdefulla för projektet till MATLAB. Det var mätvärden för FDOM (450 nm), CDOM (280 nm och 350 nm) och PAH (FDOM). På grund av att metoden för kalibreringen av sensorerna är osäker används godtyckliga enheter (g.e.) för sensorernas mätdata. Sedan importerades även data för temperatur, koagulerande dos, permeabilitet i ultrafilter, *E.coli*, turbiditet, nederbörd och flöde. När de intressanta mätvärdena fanns tillgängliga i MATLAB användes kommandot `smoothdata` för att exkludera uppenbara felaktiga värden i vissa mätdata. För koagulerande dos och *E.coli* gjordes inga justeringar av data. De avvikelser och plötsliga toppar som återstod efter justeringar av mätdata genom `smoothdata` bedömdes intressanta och analyserades vidare.

Utöver justeringen för `smoothdata` temperaturkorrigerades mätdata för FDOM (450 nm), enligt ekvation 4.3, där de föreslagna koefficienterna r_p och ρ av Hoffmeister et al. (2020) användes. Koefficienterna beräknades enligt ekvationerna 5.1 och 5.2. Temperaturkorrigeringen utfördes för att exkludera trender som beror på den varierande temperaturen i vattnet.

$$r_p = 0.7725e^{(-0.004687 \cdot Turb)} + 0.3041e^{(-0.0003624 \cdot Turb)} \quad (5.1)$$

$$\rho = 0.012 \cdot FDOM(450 \text{ nm}) \quad (5.2)$$

Därefter korrigerades data för FDOM (450 nm) även för turbiditet och inre filtereffekt genom ekvation 4.4. Faktorn för IFE, r_d , togs fram enligt ekvation 4.5 med $E_x = 365 \text{ nm}$ och $E_m = 450 \text{ nm}$. Notera att i ekvation 4.4 används absorbans vid 254 nm men i det här projektet valdes i stället absorbansen för excitation vid 365 nm och för emission vid 450 nm.

Eftersom mätvärdena för FDOM (450 nm) togs var femte minut och mätvärdena för CDOM (350 nm) togs varannan minut, så interpolerades datapunkterna för FDOM (450 nm) till att matcha tidpunkterna för mätningar av CDOM (350 nm) med hjälp av kommandot `interp1`. För att interpolera med kommandot `interp1` behövdes tidsmatriserna för FDOM (450 nm) och CDOM (350 nm) göras om från specifika datum och tider till unika nummer. Det gjordes med kommandot `datetime`. Till följd av att tidsmatriserna interpolerades kunde kvoten aQY senare beräknas genom elementvis division.

För att undersöka hur korrigerad mätdata för FDOM (450 nm) och CDOM (350 nm) förhåller sig till varandra gjordes en graf för dessa mätdata. Sedan beräknades aQY (450) enligt ekvation 5.3.

$$aQY = \frac{FDOM(450 \text{ nm})}{CDOM(350 \text{ nm})} \quad (5.3)$$

Samma metod som ovan nämnt användes sedan för att göra en graf för jämförelse av hur mätdata för PAH (FDOM) och CDOM (280 nm) förhåller sig till varandra. Trots att båda de jämförda värdena mäts varannan minut saknades ett fåtal tidpunkter med mätdata för *EnviroFlu-HC*, varpå den interpolerades mot tidpunkterna för CDOM (280 nm) för att kunna beräkna kvoten aQY (360) med hjälp av ekvation 5.4.

$$aQY = \frac{PAH(FDOM)}{CDOM(280 \text{ nm})} \quad (5.4)$$

Graferna för PAH (FDOM) och CDOM (280 nm) förväntades följa varandra, vilket de inte gjorde för given data. Det observerades att data för PAH (FDOM) tycktes vara horisontellt spegelvänd mot data för CDOM (280 nm), vilket korrigerades genom att invertera data för PAH (FDOM).

Med hjälp av de kommandon som nämnts ovan, togs grafer fram för temperatur, koagulerande dos, permeabilitet i ultrafilter, *E. coli*, turbiditet, nederbörd och flöde, mot mätdata för FDOM (450 nm), CDOM (280 nm och 350 nm) samt PAH (FDOM). Data för *E. coli* mäts med två olika metoder, Inst och MPN. *E. coli* Inst är ett automatiserat mätsystem som ger snabba och ungefärliga mätdata och genererar enbart mätvärdena <50, 50, 100, 200, 400, >400 och 800. I analysen förenklades det genom att värden som angetts som mindre än 50 antagits vara lika med 50. På samma sätt har värden som uppges vara större än 400 angetts som 400.

För att se utvalda delar av det färdiga MATLAB-skriptet, se Bilaga D.

6

Resultat och analys

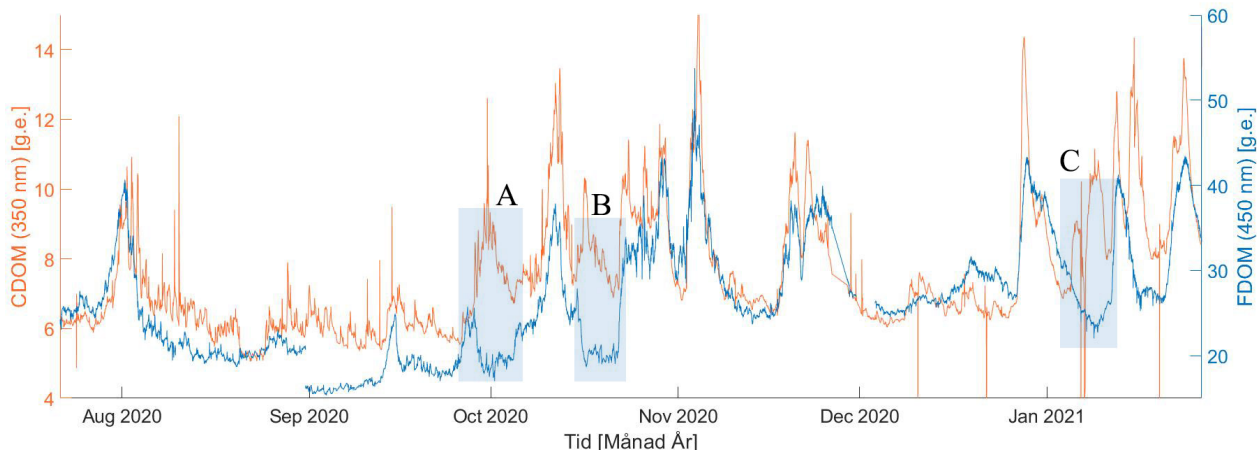
Det här kapitlet i rapporten fokuserar på att presentera och analysera samtlig mätdata i olika grafer, och används som underlag för att senare kunna uppfylla syftet med arbetet. Bland annat studeras möjliga intressanta områden i graferna för sensordata med hjälp av data för permeabilitet och tillsats av fällningskemikalie i Kungälv. Vidare undersöks även påverkansfaktorer såsom *E.coli*, turbiditet, nederbörd och flöde i Göta älv.

6.1 Resultat och analys av DOM, PAH och aQY

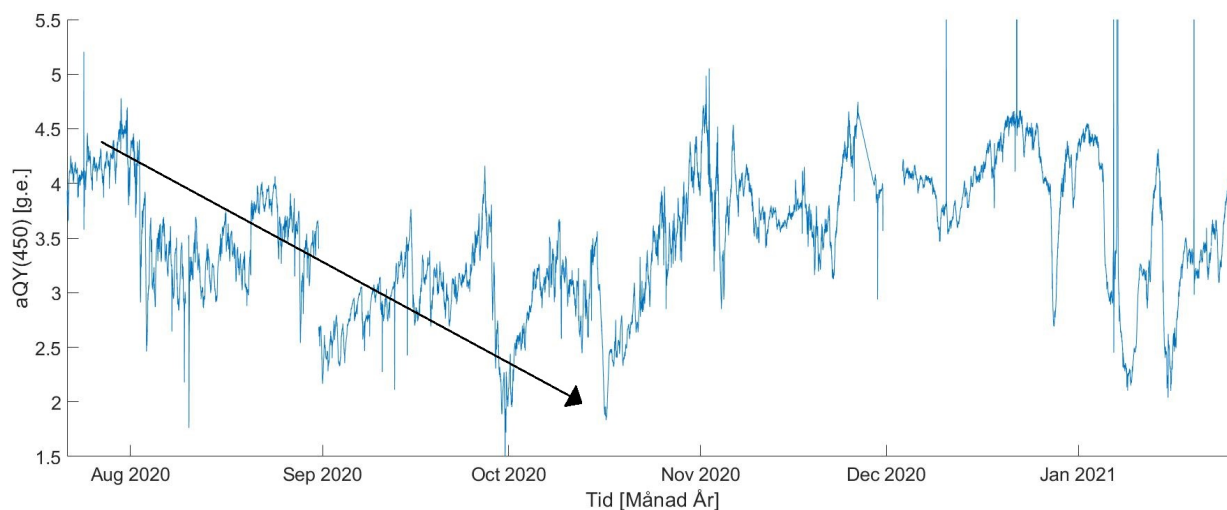
För att undersöka hur FDOM (450 nm) och CDOM (350 nm) varierar i förhållande till varandra över tid analyseras Figur 6.1. Mätdata för FDOM (450 nm) och CDOM (350 nm) bör korrelera och följa varandra åt, vilket de oftast gör sett till Figur 6.1. På tre ställen skiljer sig dock FDOM (450 nm) och CDOM (350 nm) markant, i början och mitten av oktober samt i början av januari, dessa avvikelser markeras som A, B och C i figuren. Där ändras FDOM (450 nm) och CDOM (350 nm) vid olika tidpunkter och inte i samband med varandra. Det diskontinuerliga hoppet i data för FDOM (450 nm) vid månadsskiftet till september beror enligt Kretslopp och vatten på ett byte av en sensor till en med annan kalibrering än den tidigare. Bytet av sensorn kommer även att påverka aQY (450) i Figur 6.2 eftersom den grafen har sitt ursprung i mätdata för Figur 6.1. I slutet av november och början av december kan ett bortfall av data för FDOM (450 nm) noteras. Kretslopp och vatten uppger att de vid tillfället rengjort sonden och kalibrerat dess elektroder. Det här bortfallet av data följer i samtliga grafer innehållande data för FDOM (450 nm).

Kvoterna mellan FDOM (450 nm) och CDOM (350 nm) ger aQY (450) enligt Figur 6.2. Värdena ligger mellan två och fem, men de varierar mycket över tid och även en del plötsliga förändringar inom en kort tidsperiod kan utläsas. En nedåtgående trend kan noteras i början av den undersökta perioden. När värdet ändras hastigt indikerar det att FDOM och CDOM inte följer varandra i ändringar i vattnets komposition, vilket är intressanta perioder att analysera vidare. De plötsliga minskningarna av aQY (450) i början och mitten av oktober bekräftar det som observerades i Figur 6.1, att värdena ändras olika mycket och vid olika tider. Ytterligare intressanta punkter noteras i januari i både Figur 6.1 och Figur 6.2.

För att undersöka förhållandet mellan data för PAH (FDOM) och CDOM (280 nm) analyseras Figur 6.3. Då PAH (FDOM) och CDOM (280 nm) förväntas följa varandra någorlunda, bedöms mätvärdena för PAH (FDOM) vara inverterade, vilket åtgärdas i enlighet med Figur 6.4. Ursprungliga data för PAH (FDOM) analyseras därför inte vidare, istället används



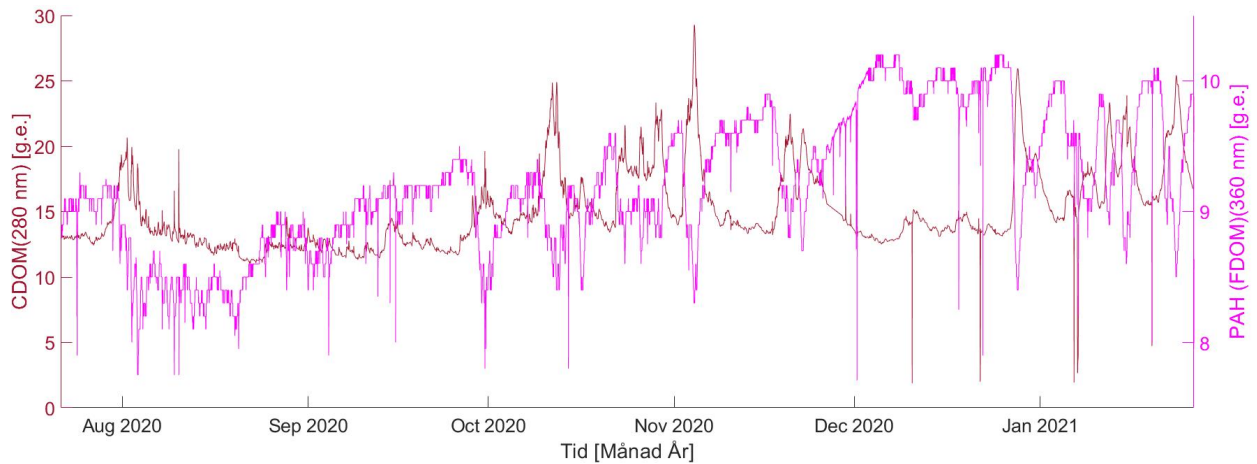
Figur 6.1: Förhållandet mellan FDOM (450 nm) och CDOM (350 nm) för tidsperioden juli 2020 till januari 2021. Avvikande perioder markeras med A, B och C.



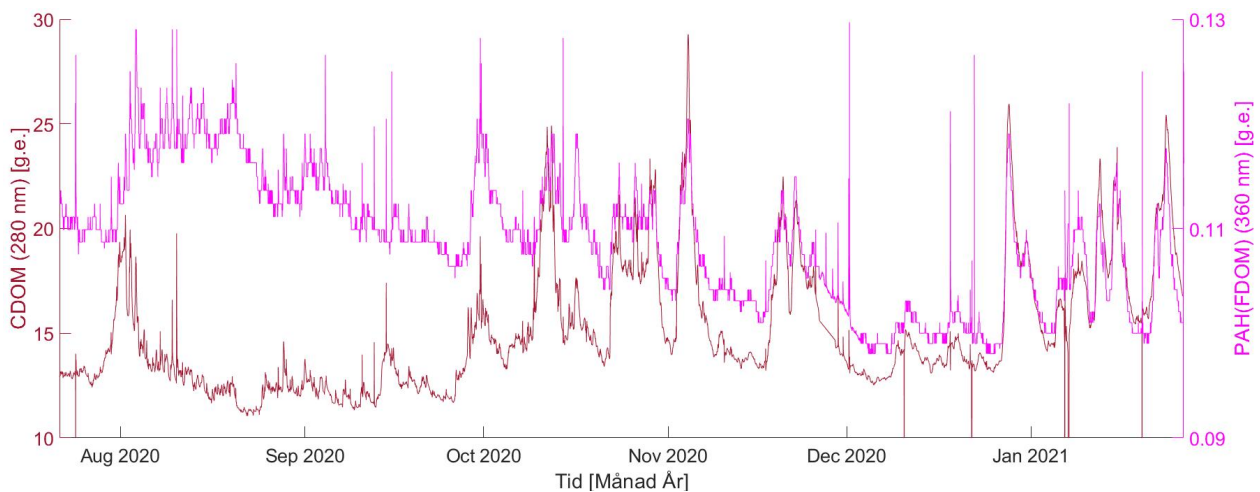
Figur 6.2: Kvoten aQY mellan FDOM (450 nm) och CDOM (350 nm) för tidsperioden juli 2020 till januari 2021. Pilen markerar en avtagande trend fram till mitten av oktober.

korrigerad data utan att ta hänsyn till de inverterade enheterna.

I Figur 6.4 visualiseras korrigerad data för PAH (FDOM) samt CDOM (280 nm). Till skillnad från graferna i Figur 6.3 följer de här varandra bättre, vilket var det som förväntades. Framförallt verkar data följa varandra väl från oktober och framåt. I juli och augusti verkar däremot CDOM (280 nm) öka lite tidigare än PAH (FDOM), därav kan perioden vara intressant att undersöka vidare och hitta externa faktorer som kan ligga till grund för förskjutningen. Vidare benämns korrigerad PAH (FDOM)-data enbart som PAH (FDOM) i rapporten, då det är den data som valdes för vidare analys i projektet.



Figur 6.3: Förhållandet mellan PAH (FDOM) och CDOM (280 nm) för den givna tidsperioden juli 2020 till januari 2021. Mätdata för PAH (FDOM) är originaldata från sensorn *EnviroFlu-HC*.

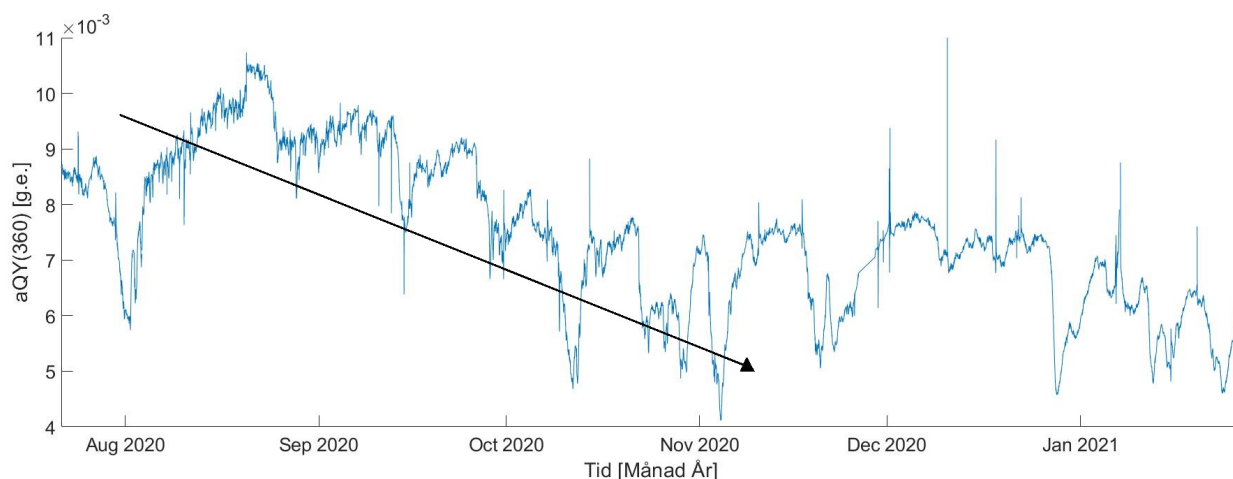


Figur 6.4: Förhållandet mellan PAH (FDOM) och CDOM (280 nm) för tidsperioden juli 2020 till januari 2021. Här är PAH (FDOM) inverterad originaldata.

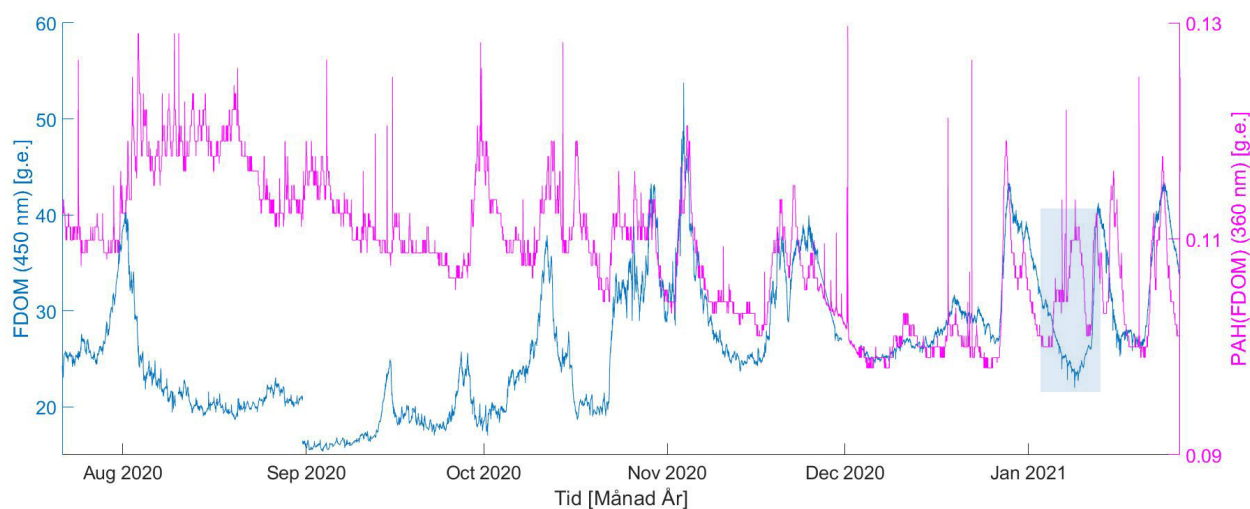
Kvoten $aQY(360)$ för PAH (FDOM) och CDOM (280 nm) kan ses i Figur 6.5. På samma sätt som för $aQY(450)$ går värdet på $aQY(360)$ ner när data för PAH (FDOM) och CDOM (280 nm) inte varierar i samband med varandra. Även här kan en nedåtgående trend i början av den undersökta perioden noteras.

I Figur 6.6 redovisas FDOM (450 nm) och PAH (FDOM). Halterna följer varandra från mitten av oktober, undantaget en avvikelse i början av januari, se markering i figuren. Innan oktober skiljer de sig mycket. En möjlig förklaring är att *EnviroFlu-HC* under sommar och tidig höst även mäter proteinliknande FDOM som följd av hög biologisk aktivitet, vilket inte uppmäts i sensorn i södra Nol då de inte fluorescerar inom *EXO fDOM Smart Sensors* bandpass. Det kan även noteras att data från *EnviroFlu-HC* tycks ha en nedåtgående trend.

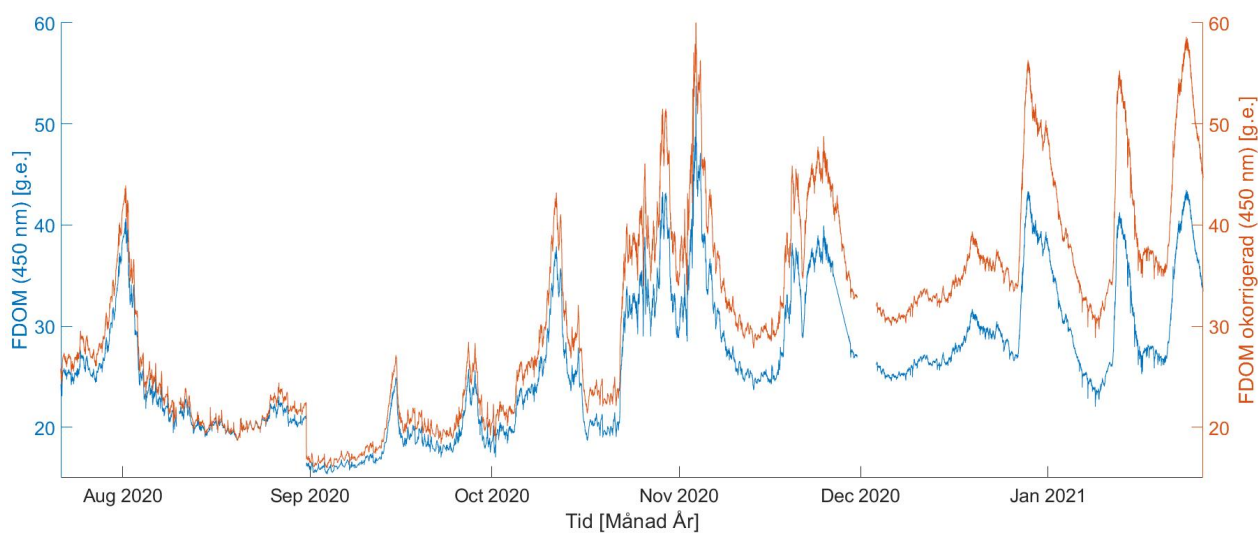
I Figur 6.7 syns FDOM (450 nm) innan korrigering för temperatur, turbiditet och IFE samt korrigerad FDOM (450 nm). Den stora skillnaden mellan okorrigerade och korrigerade värden vid lägre temperaturer, se Figur 6.8, motiverar en korrektion av mätdata.



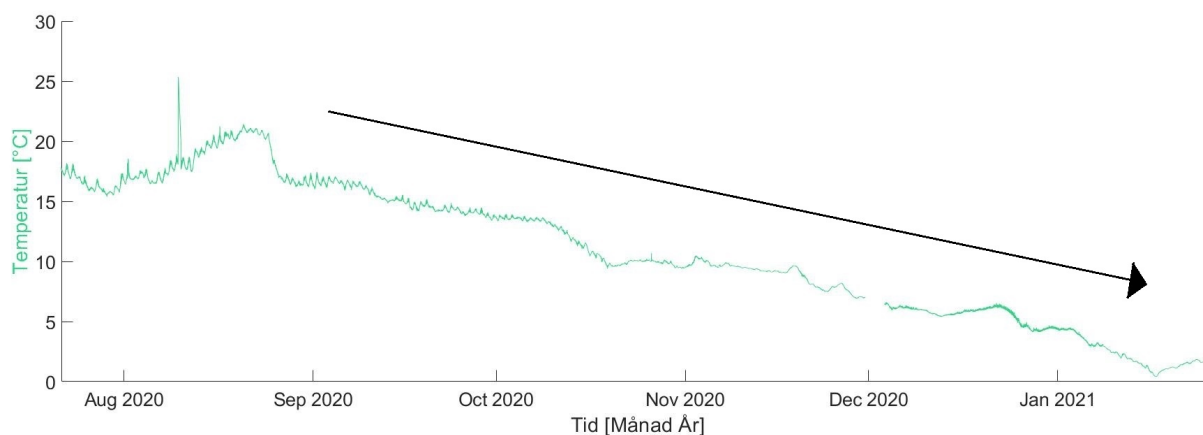
Figur 6.5: Kvoten aQY mellan PAH (FDOM) och CDOM (280 nm) för tidsperioden juli 2020 till januari 2021. Pilen markerar en avtagande trend fram till början av november.



Figur 6.6: Förhållandet mellan FDOM (450 nm) och PAH (FDOM) för tidsperioden juli 2020 till januari 2021. Avvikande period är markerad.



Figur 6.7: Förhållandet mellan temperatur-, turbiditet och IFE-korrigerad FDOM (450 nm) och okorrigerad FDOM (450 nm) för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.



Figur 6.8: Temperaturen för tidsperioden juli 2020 till januari 2021. Pilen markerar en avtagande trend från början av september.

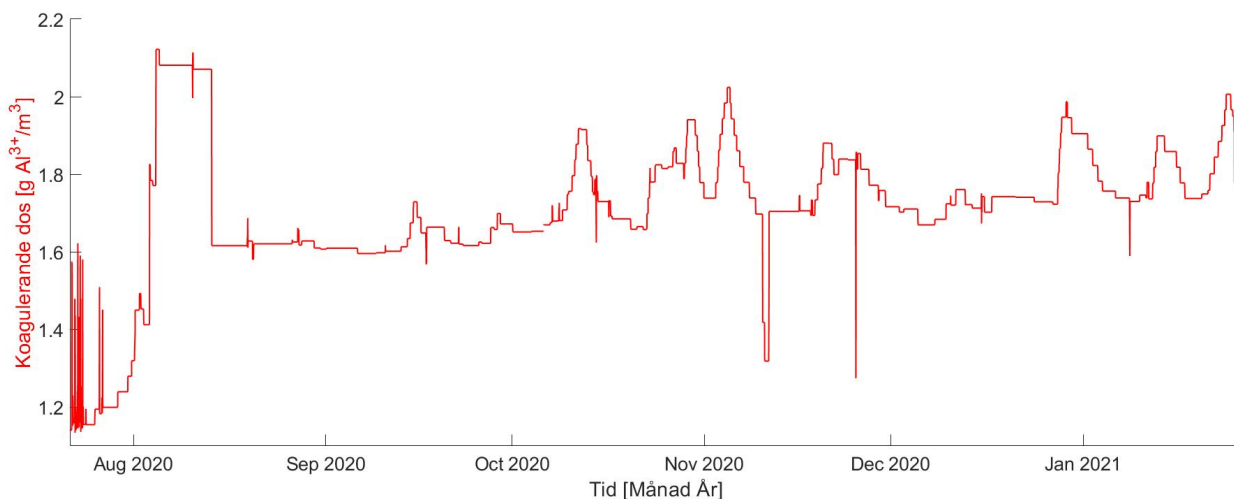
6.2 Resultat och analys av data från reningsprocessen

För att undersöka hur förändringar i råvattenkvalitet påverkar dricksvattenbehandlingens effektivitet, samt studera hur reningsprocessen utförs då ingen avvikelse i sensordata från Göta älv upptäcks, skapades bland annat grafer som visualiserar den koagulerande dosen samt permeabiliteten för de fyra ultrafiltren. Som nämnts i tidigare avsnitt utgör fällningskemikalien PAC och membranfilter en viktig del av reningsprocessen i Kungälvs vattenreningsverk. Det skapades även grafer för koagulerande dos och permeabilitet där olika påverkansfaktorer tas i beaktning för att besvara projektets frågeställningar.

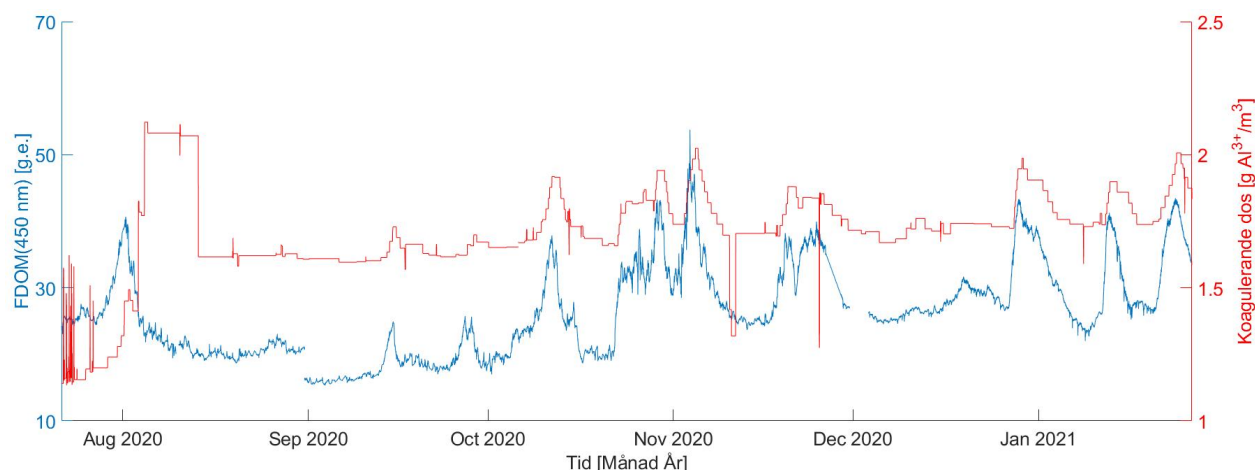
6.2.1 Koagulerande dos

För att se hur halten FDOM (450 nm), CDOM (280 nm och 350 nm) samt PAH (FDOM) påverkar reningsverkets processer studerades bland annat den koagulerande dosen, se Figur 6.9. Den tillsatta dosen koagulant baseras på halten NOM i vattnet efter att det passerat biofiltren, baserade på mätningar av UV_{254} -absorbans. Under slutet av juli till och med mitten av augusti ser den tillsatta dosen något avvikande ut. Enligt Kungälvs vattenreningsverk beror det på tillfälliga problem med sensorn som mäter UV_{254} -absorbans före ultrafiltren, vilken är avgörande för rätt dosering av fällningskemikalie.

För att analysera hur halten FDOM (450 nm) i älven påverkade vattenreningen jämförs den mot den koagulerande dosen i Figur 6.10. De båda följer varandra väl, vilket är rimligt på grund av den generellt höga korrelationen mellan CDOM och FDOM.



Figur 6.9: Koagulerande dos för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.

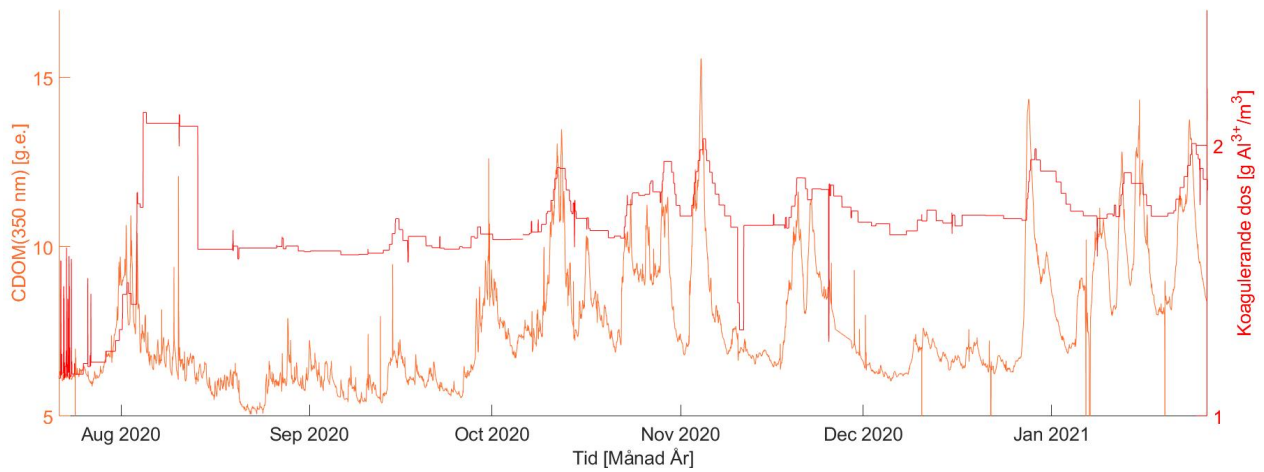


Figur 6.10: FDOM (450 nm) och koagulerande dos för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.

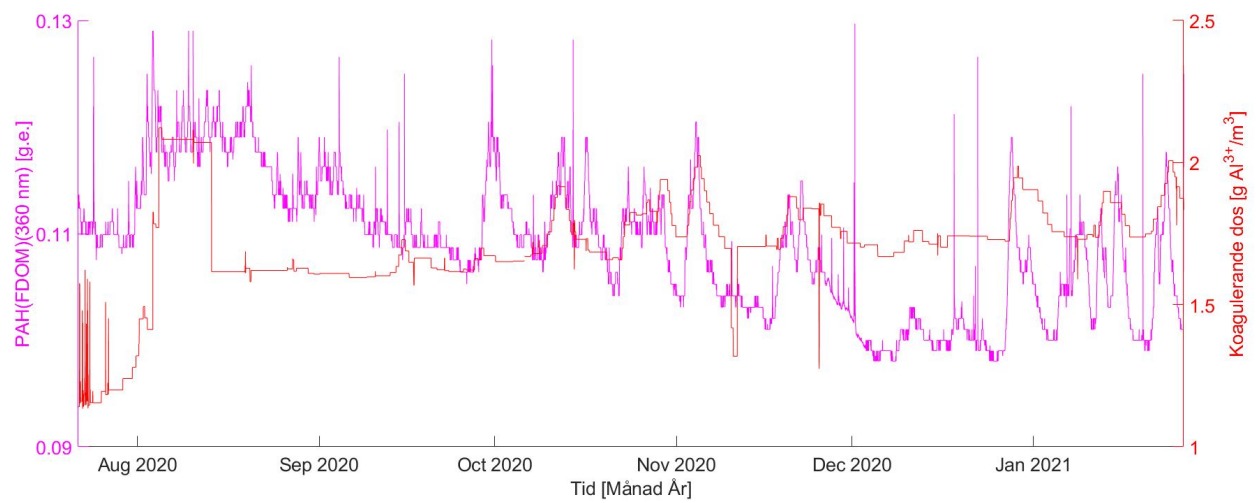
Vidare undersöktes även hur den tillsatta dosen fällningskemikalie förhåller sig till CDOM (350 nm), se Figur 6.11. Även här tycks de följa varandra bra vilket också bör bero på att CDOM (350 nm) utgör en del av NOM.

I Figur 6.12 jämfördes halten PAH (FDOM) gentemot den koagulerande dosen. Här tycks sambanden inte vara lika tydliga trots att PAH (FDOM) utgörs av en stor del FDOM. Vissa toppar sammanfaller, exempelvis under oktober och november.

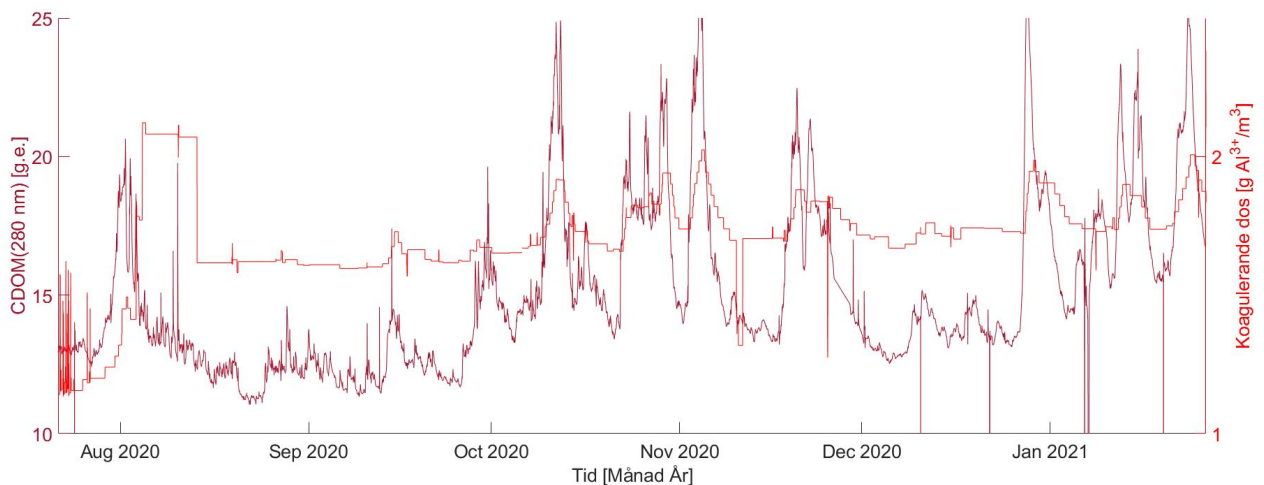
Påverkan av halten CDOM (280 nm) på mängden fällningskemikalie studerades också, och som det nämnts ovan så utgör även CDOM (280 nm) en del av NOM. Den koagulerande dosen och CDOM (280 nm) följer varandra väl, vilket kan ses i Figur 6.13.



Figur 6.11: CDOM (350 nm) och koagulerande dos för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.



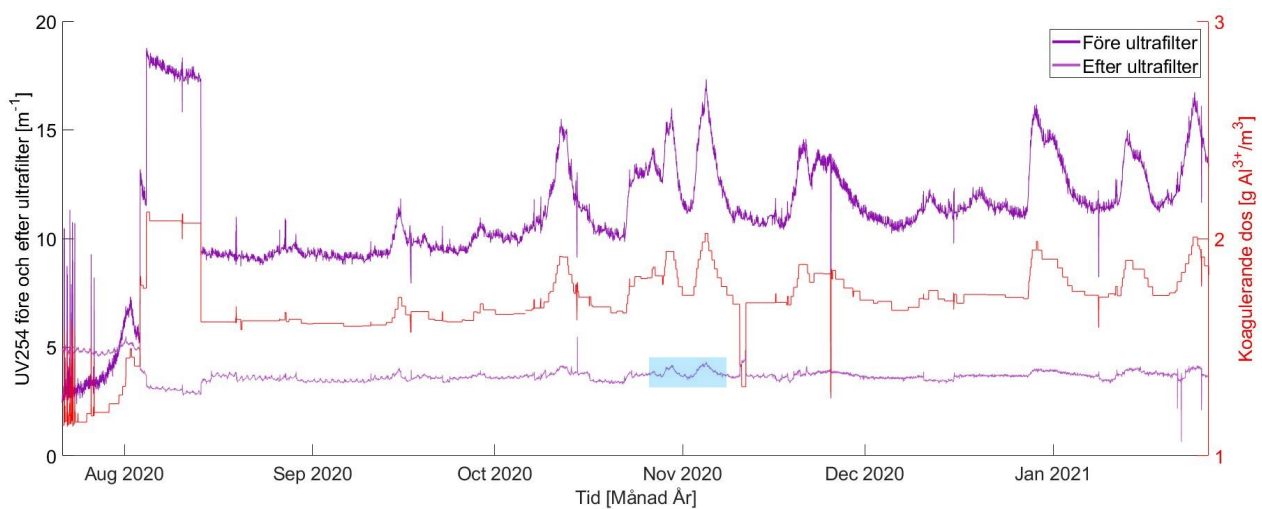
Figur 6.12: PAH (FDM) och koagulerande dos för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.



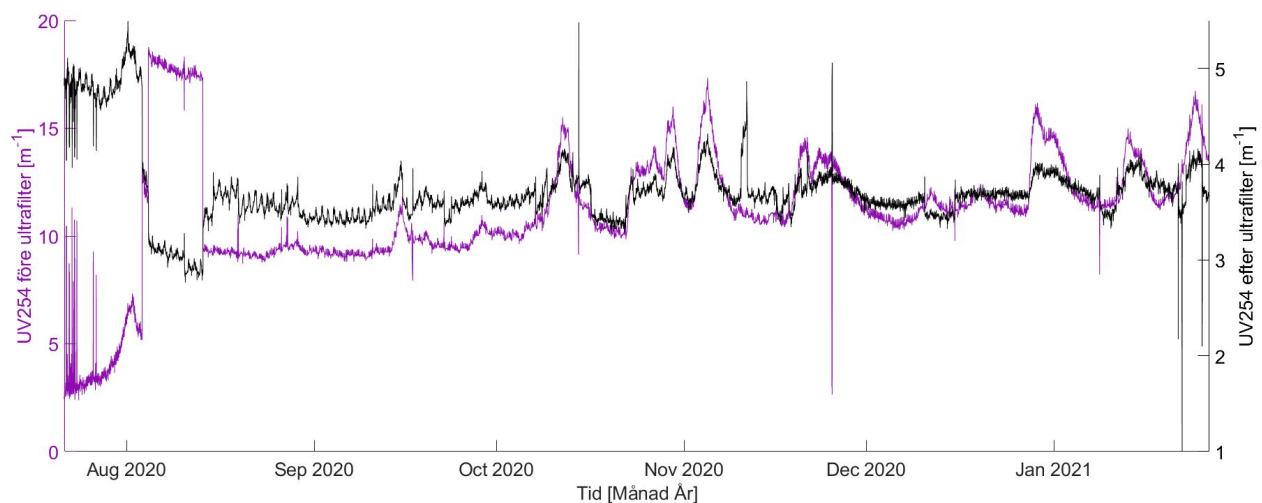
Figur 6.13: CDOM (280 nm) och koagulerande dos för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.

För att se om den koagulerande dosen fungerar som den ska studerades den i jämförelse med halten NOM som mäts med UV_{254} -absorbansen före och efter ultrafiltren, vilket kan ses i Figur 6.14. Det kan noteras att dosen följer den uppmätta halten före filtren väl och halten NOM är lägre efter filtren. Två mindre toppar kan noteras runt månadsskiftet oktober-november, se markering i figuren. Nedgången som ses i november i data för koagulerande dos beror enligt Kungälvsvattenrensningverk på en tillfällig sänkning till basdosen.

En bättre översikt över avvikande värden i UV_{254} -absorbansen efter ultrafilter fås genom Figur 6.15, vilken visar en jämförelse av UV_{254} -absorbansen före och efter ultrafiltren. I figuren ses de två topparna som markerats i Figur 6.14, men även en i mitten av oktober och tre i januari. En ökning av UV_{254} -absorbansen efter ultrafilter innebär en kvalitetskillnad, topparna i figuren indikerar att den koagulerande dosen vid tidpunkterna inte var optimal, den hade kunnat vara högre.



Figur 6.14: UV_{254} före och efter ultrafilter och koagulerande dos för tidsperioden juli 2020 till januari 2021. Avvikelserna i UV_{254} efter ultrafilter är markerade.



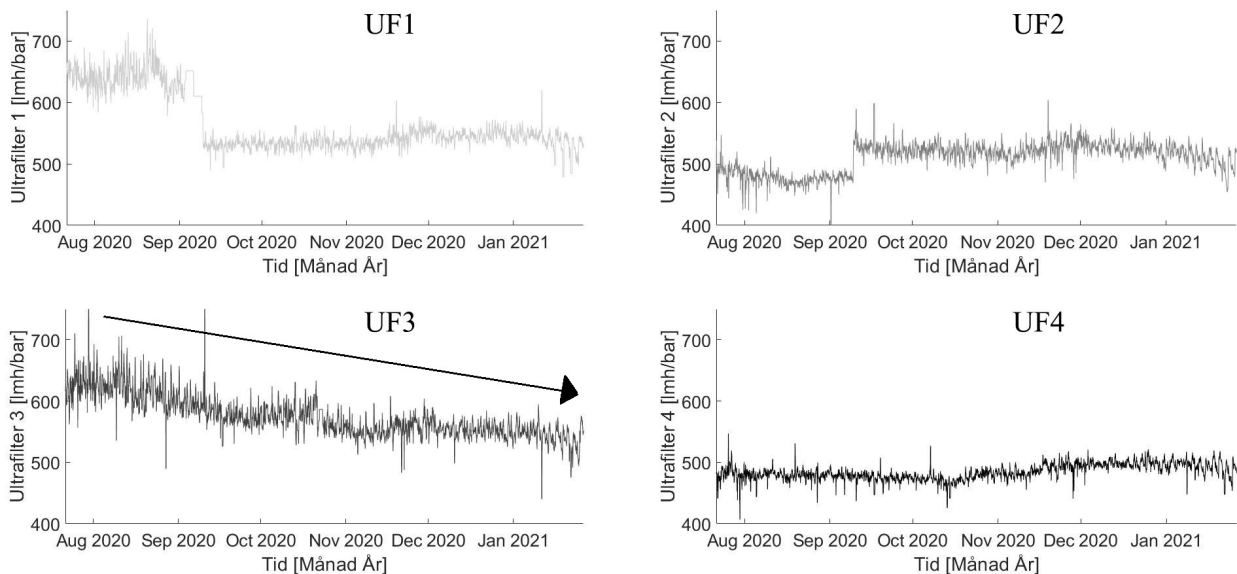
Figur 6.15: UV_{254} före och efter ultrafilter för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.

Följande kan konstateras efter analys av den koagulerande dosen

- Den koagulerande dosen tycks mestadels fungera väl och bidra till god vattenrening utifrån UV_{254} -absorbansen som substitut för halten NOM. Dock noteras några avvikelser där dosen inte verkar vara optimal.
- De uppmätta halterna för FDOM (450 nm), CDOM (280 nm) och CDOM (350 nm) följer den tillsatta halten PAC, vilket är rimligt då samtliga är en del av NOM.
- För PAH (FDOM) finns vissa tendenser till korrelation.

6.2.2 Permeabilitet i ultrafilter

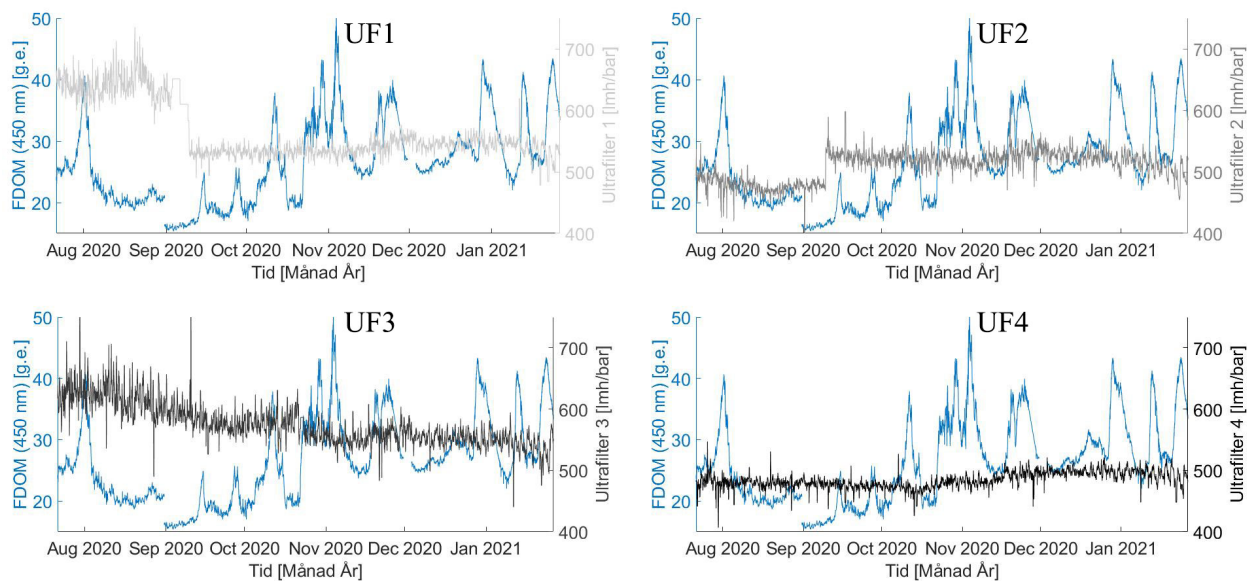
För att vidare undersöka hur ändring av vattenkvalitet påverkar dricksvattenproduktion vid Kungälvsvattenrensning studeras de fyra ultrafiltren på anläggningen. I Figur 6.16 visas grafer för de olika ultrafiltrens permeabilitet. Det blir tydligt att det finns en skillnad i effektivitet mellan de fyra filtren genom undersökning av permeabilitetens skiftningar över tid. Filter ett och två byttes i början av september vilket förklarar avvikelserna i respektive graf. Efter bytet hålls permeabiliteten relativt konstant med minimala avvikelser för de två filtren, även ultrafilter fyra är relativt konstant över hela perioden. Ultrafilter tre har dock en viss lutning.



Figur 6.16: De fyra ultrafiltrens permeabilitet för tidsperioden juli 2020 till januari 2021. Pilen vid ultrafilter 3 markerar en avtagande trend.

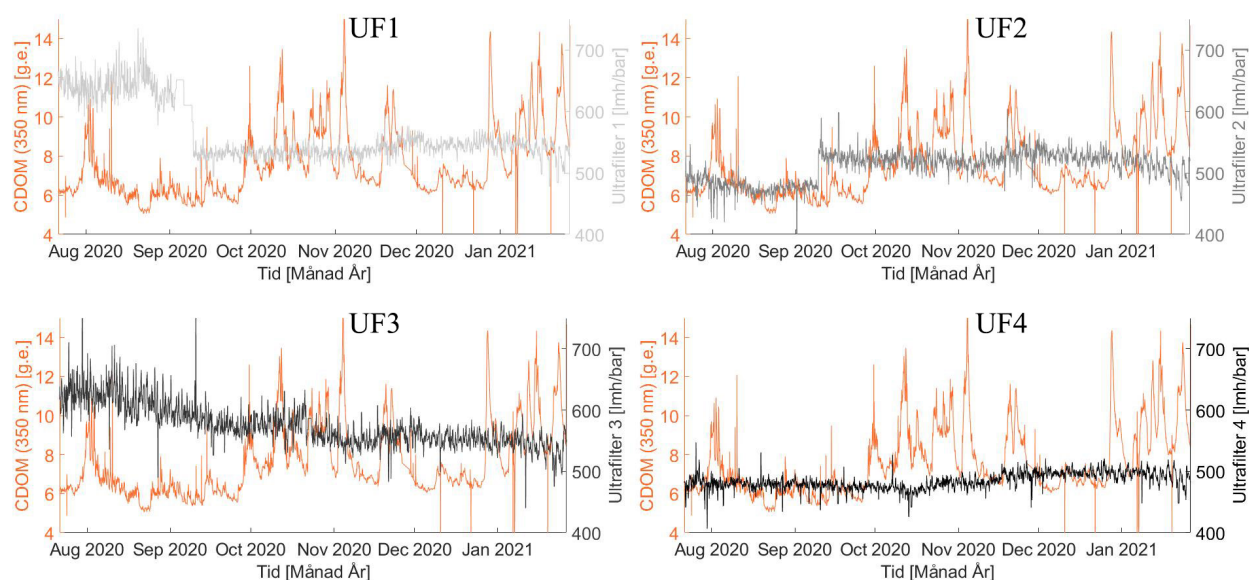
För att undersöka avvikelser i ultrafiltrens permeabilitet studeras olika påverkansfaktorer. I Figur 6.17 visas ultrafiltrens permeabilitet samt data för FDOM (450 nm). Utifrån figuren blir det tydligt att det tidvis sker en minimal minskning i permeabilitet för filtren då halten FDOM (450 nm) ökar kraftigt. Mest noterbart i början av augusti för samtliga filter.

I Figur 6.18 visas permeabiliteten i ultrafiltren samt halten CDOM (350 nm). Som tidigare



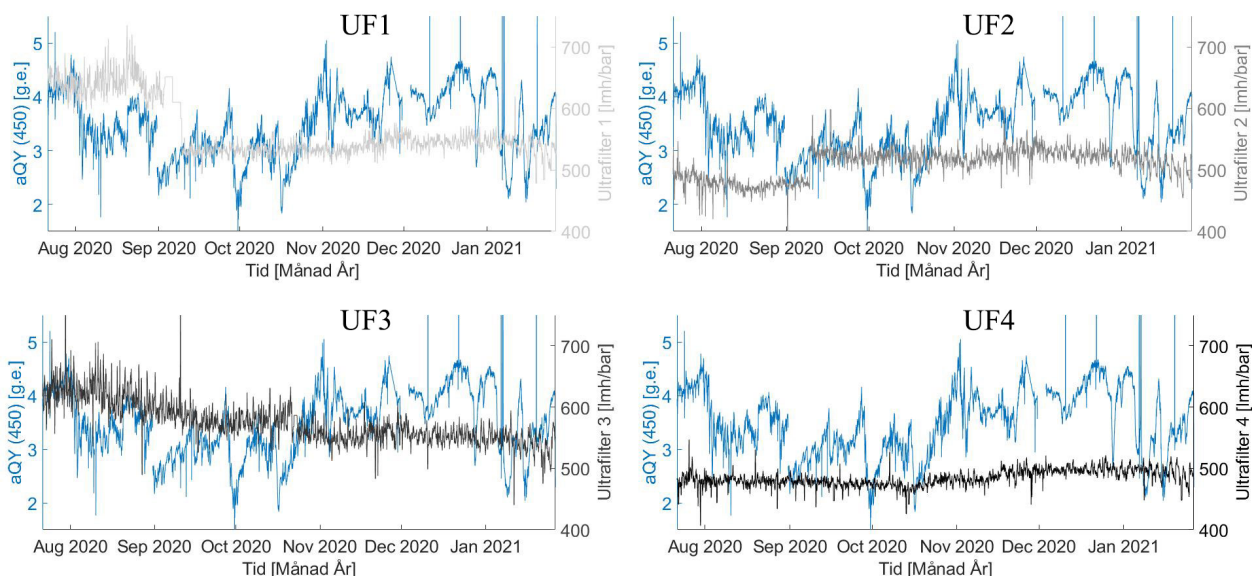
Figur 6.17: De fyra ultrafiltrens permeabilitet och FDOM (450 nm) för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.

kan en liten skiftning nedåt i permeabiliteten ses då halten CDOM (350 nm) ökar, speciellt i början av augusti. Då FDOM är en del av CDOM studerades även aQY (450) i förhållande till ultrafiltrens permeabilitet, se Figur 6.19. De intressanta punkterna där kompositionen i vattnet förändras enligt aQY verkar inte sammanfalla med ändringar av permeabiliteten.



Figur 6.18: De fyra ultrafiltrens permeabilitet och halten CDOM (350 nm) för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.

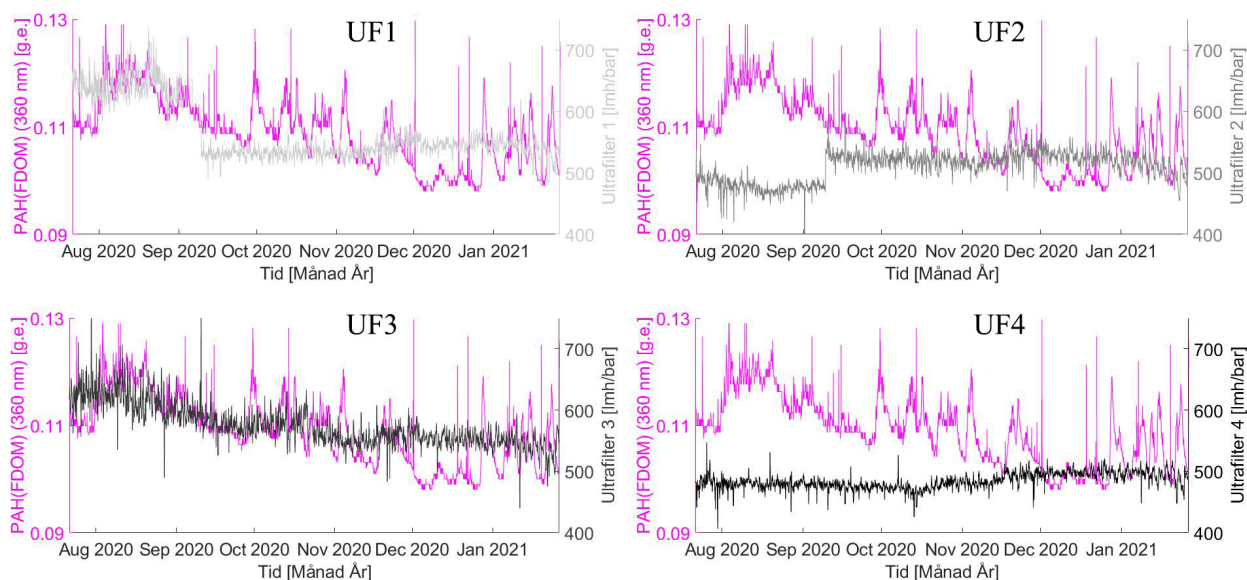
I Figur 6.20 visas den analys som gjordes mellan ultrafiltrens permeabilitet och halten PAH



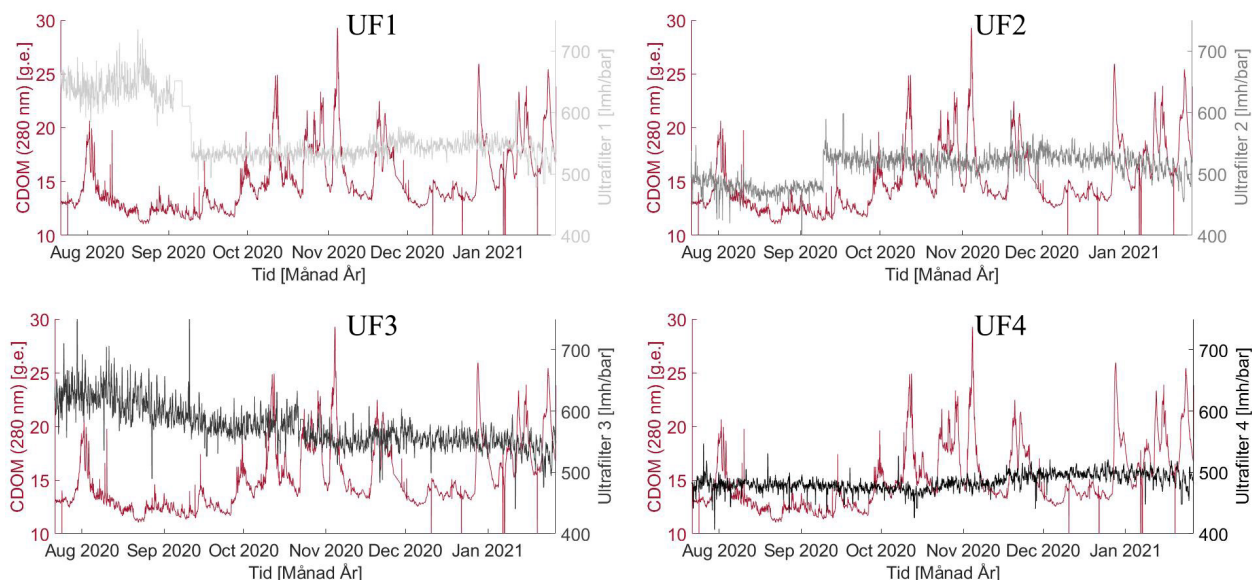
Figur 6.19: De fyra ultrafiltrens permeabilitet och aQY (450) för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.

(FDOM). Även här kan vissa nedgångar i permeabiliteten upptäckas då halten PAH (FDOM) går upp, bland annat i mitten av augusti för filter tre och i mitten av oktober för filter fyra.

I Figur 6.21 presenteras en jämförelse mellan halten CDOM (280 nm) och ultrafiltrens permeabilitet. Minskningar i permeabiliteten går att notera även i det här fallet då halten CDOM (280 nm) stiger, särskilt märkbart är det under början av augusti för samtliga ultrafilter.

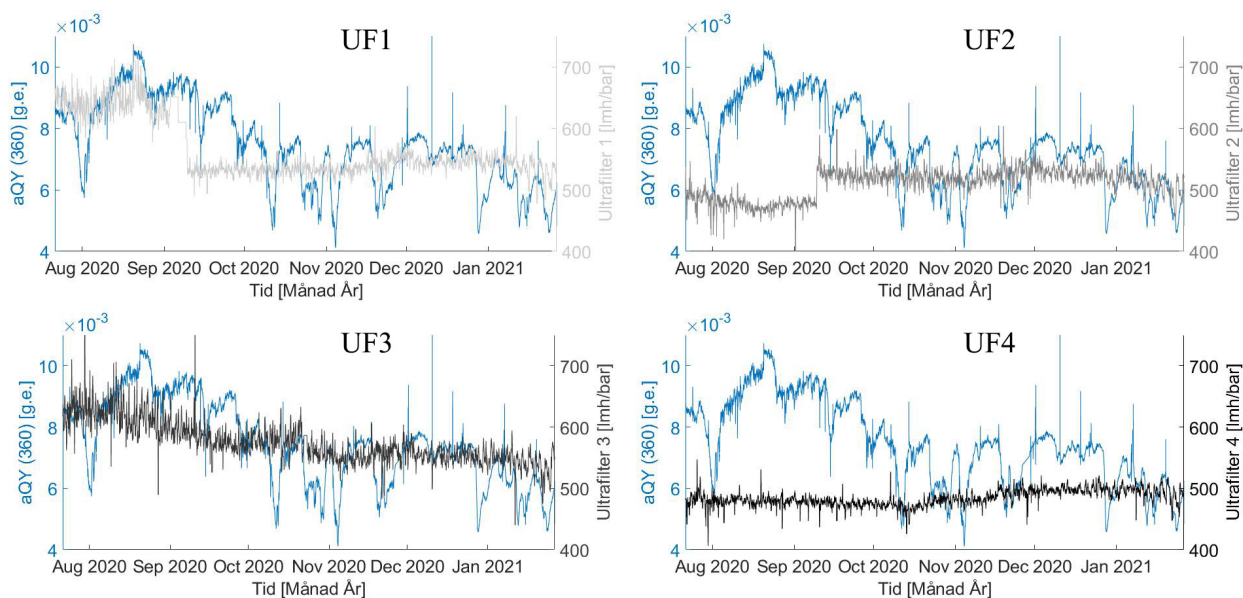


Figur 6.20: De fyra ultrafiltrens permeabilitet och PAH (FDOM) för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.



Figur 6.21: De fyra ultrafiltrens permeabilitet mot CDOM (280) för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.

Även aQY (360) studeras i förhållande till ultrafiltrens permeabilitet, vilket visualiseras i Figur 6.22. De intressanta punkterna där kompositionen i vattnet förändras enligt aQY (360) verkar inte påverka permeabiliteten.



Figur 6.22: De fyra ultrafiltrens permeabilitet och aQY (360) för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.

Sammanfattningsvis kan ett antal slutsatser dras utifrån analysen av permeabiliteten för de fyra ultrafiltren på Kungälvsvattenrensningverket.

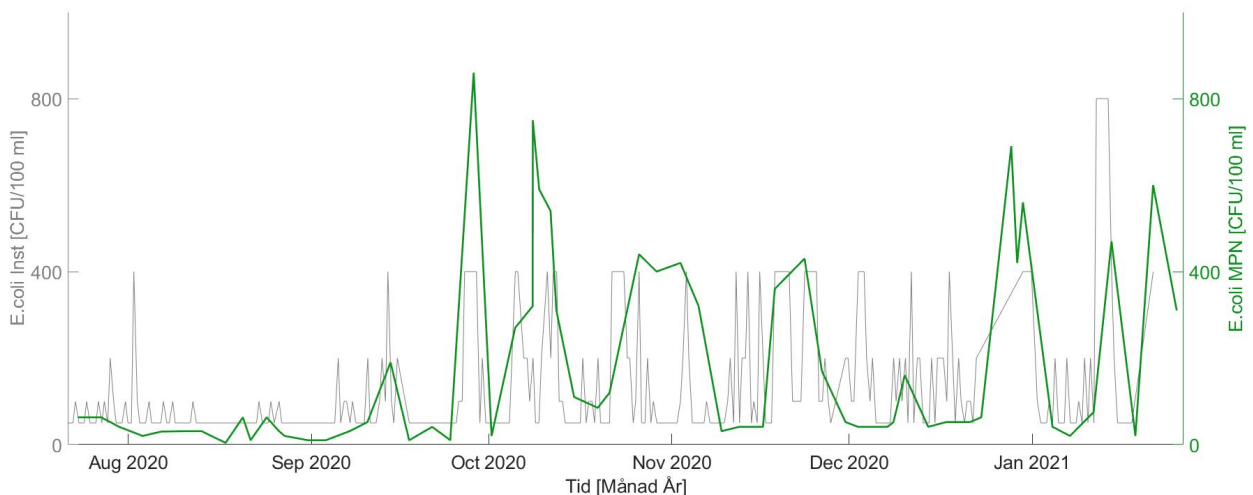
- Permeabiliteten för ultrafilter 3 minskar med tiden och borde därför undersökas vidare.
- Permeabiliteten i ultrafiltren minskar till viss del då halterna FDOM (450 nm), CDOM (280 nm) och CDOM (350 nm) ökar drastiskt, framförallt under augusti månad. Däremot är minskningen så minimal att risken för att ultrafilterna inte fungerar som de ska går att utesluta.
- På grund av att filter ett och två byttes i början av september är en analys svår att göra för dessa två filter under perioden fram tills bytet.
- De intressanta punkterna där kompositionen i vattnet förändras enligt aQY verkar inte påverka permeabiliteten.

6.3 Resultat och analys av möjliga påverkansfaktorer

För att kunna utföra en analys av data och undersöka de perioder då sensorernas mätvärden avviker från varandra behövs kompletterande data för att kunna hitta eventuella påverkansfaktorer. De faktorer som undersökts i avsnittet är *E.coli*, turbiditet, nederbörd och flöde i Göta älv tillsammans med mätdata från sensorerna samt från reningsprocessen i vattenverket.

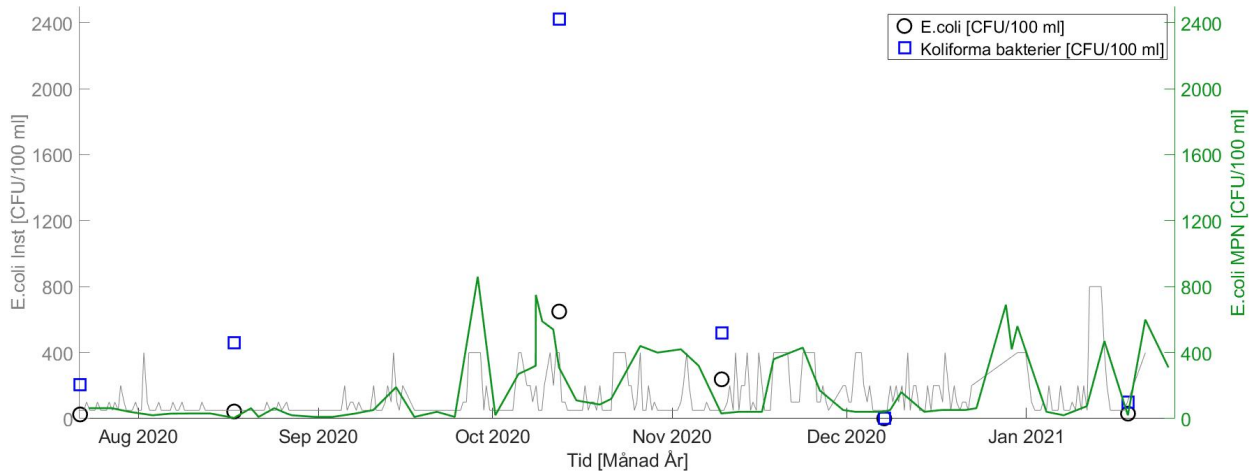
6.3.1 *E.coli*

Halten *E.coli* är viktig att beakta i en bedömning av vattenkvalitet och anses därför vara relevant för analysen av sensordata. För att analysera *E.coli*-halten i förhållande till övrig data studeras värden från mätstationen i Garn, se Figur 6.23. *E.coli* MPN uppvisar en stor variation i mätvärden och verkar därför ge en mer korrekt bild av hur *E.coli*-halten varierar jämfört med *E.coli* Inst. Därför beslutades det att endast *E.coli* MPN ska studeras vidare.



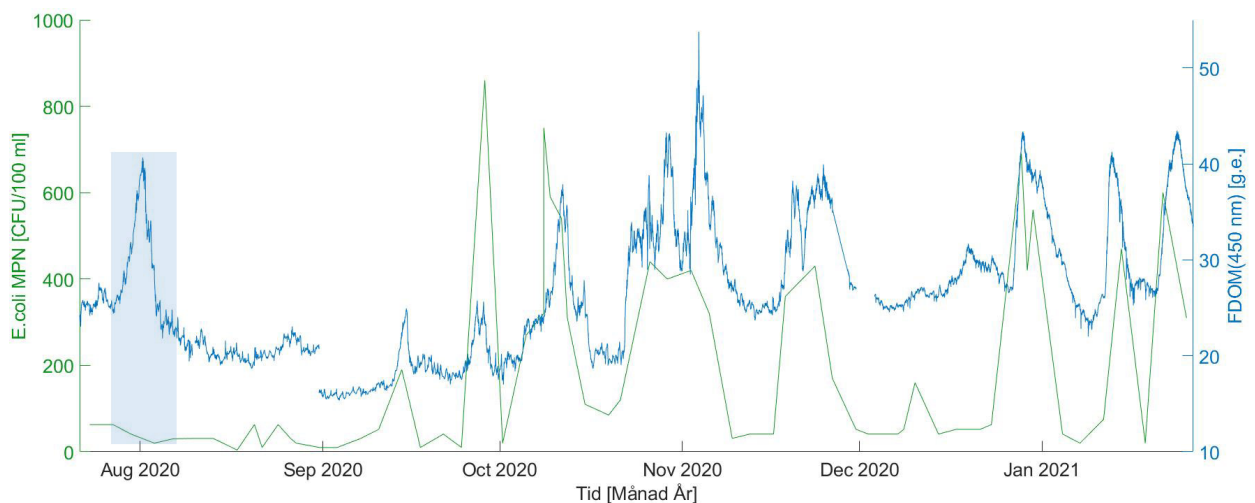
Figur 6.23: *E.coli* Inst och *E.coli* MPN för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.

I Figur 6.24 syns data för *E.coli* från mätstationen i Garn och mätvärden för *E.coli* samt koliforma bakterier från laboratorieanalyserade vattenprov hämtade vid Kungälvsvattenreningverket. Det kan noteras att endast vattenprovet i oktober sammanfaller med en topp i mätvärden från Garn. Även vattenprovet har höga värden för *E.coli* och koliforma bakterier, vilket bekräftar en hög halt *E.coli*. Övriga vattenprover bidrar inte till bedömningen om huruvida mätvärden från Garn ger en korrekt bild av *E.coli*-halten i vattnet då de endast tas en gång per månad.



Figur 6.24: *E.coli* Inst och *E.coli* MPN för tidsperioden juli 2020 till januari 2021. Mätvärden från laboratorieanalyserade vattenprov utförda under samma period är markerade med svarta cirklar och blå kvadrater.

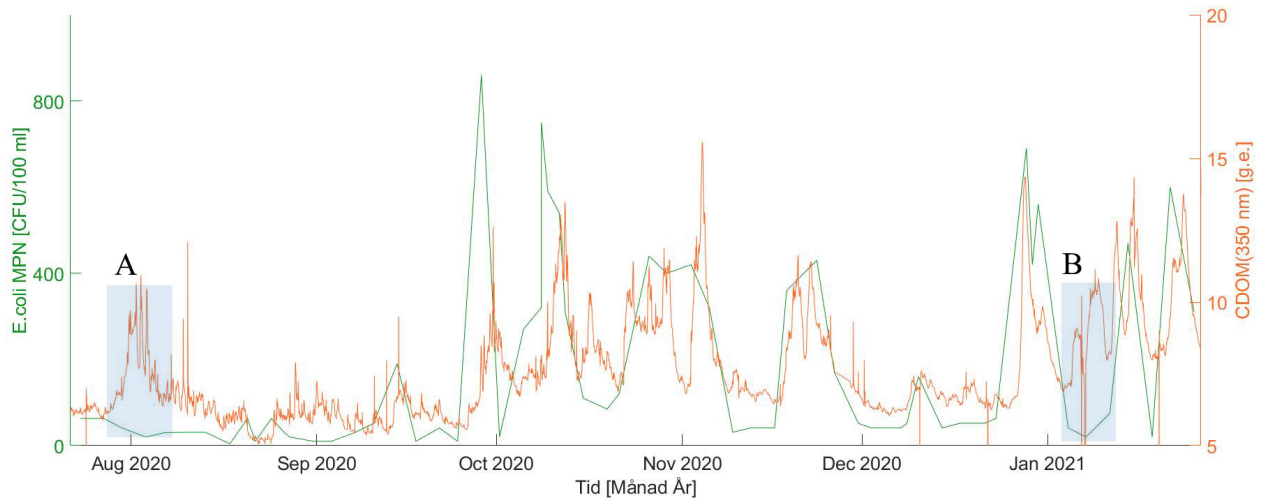
Halten *E.coli* studeras i förhållande till data från sensorerna för att finna möjliga samband. Figur 6.25 visar att halten *E.coli* och FDOM (450 nm) följer varandra ganska bra. En avvikelse noteras i augusti då halten FDOM (450 nm) ökar samtidigt som halten *E.coli* minskar.



Figur 6.25: FDOM (450 nm) och *E.coli* MPN för tidsperioden juli 2020 till januari 2021. Avvikande period är markerad.

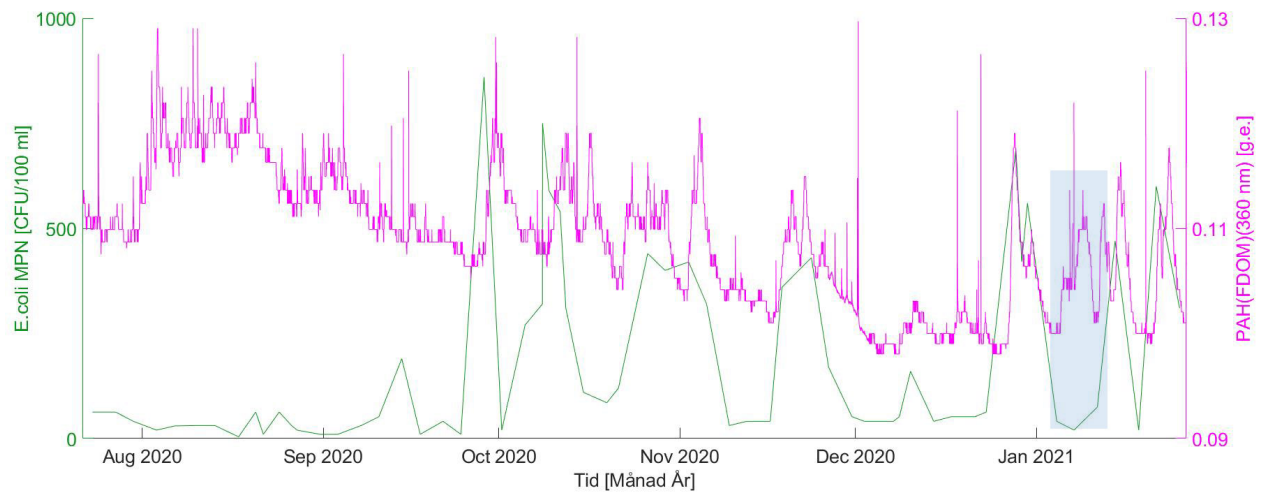
Då CDOM (350 nm) studeras i förhållande till *E.coli* kan det noteras att de till stor del följer varandra bra, se Figur 6.26. Precis som för FDOM (450 nm) ses en avvikelse i augusti, där

CDOM (350 nm) ökar men inte halten *E.coli*. En avvikelse noteras också i januari där en ökning ses i CDOM (350 nm) men inte i halten *E.coli*. Avvikelserna markeras som A och B i figuren.



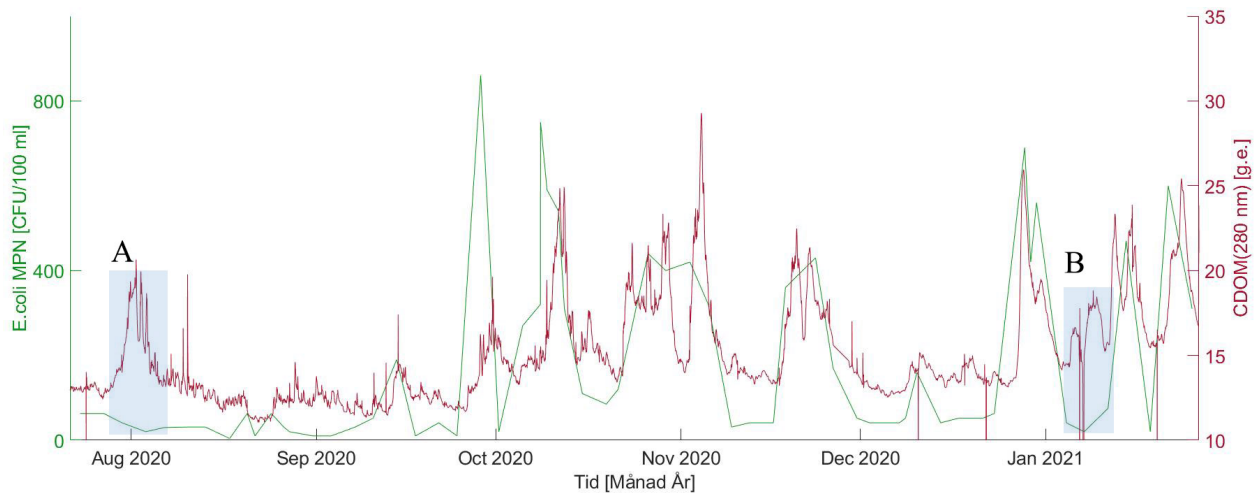
Figur 6.26: CDOM (350 nm) och *E.coli* MPN för tidsperioden juli 2020 till januari 2021. Avvikande perioder markeras med A och B.

Förhållandet mellan PAH (FDOM) och *E.coli* skiljer sig något från tidigare grafer, se Figur 6.27. Fram till oktober har PAH (FDOM) höga värden som inte tycks följa halten *E.coli*, däremot verkar de följa varandra någorlunda efter oktober. Även i det här fallet ses en avvikelse i början av januari, vilket även kan noteras i graferna för CDOM.



Figur 6.27: PAH (FDOM) och *E.coli* MPN för tidsperioden juli 2020 till januari 2021. Avvikande period markeras.

I Figur 6.28 ses CDOM (280 nm) i förhållande till *E.coli*. Den visar att även CDOM (280 nm) mestadels följer *E.coli* bra och samma avvikelse kan ses i augusti och januari som för CDOM (350 nm), dessa markeras som A och B i figuren. Värt att notera är att både CDOM (350 nm) och CDOM (280 nm) följer *E.coli* i mitten av december, där en avvikelse noterades för FDOM (450 nm).



Figur 6.28: CDOM (280 nm) och *E.coli* MPN för tidsperioden juli 2020 till januari 2021. Avvikande perioder markeras med A och B.

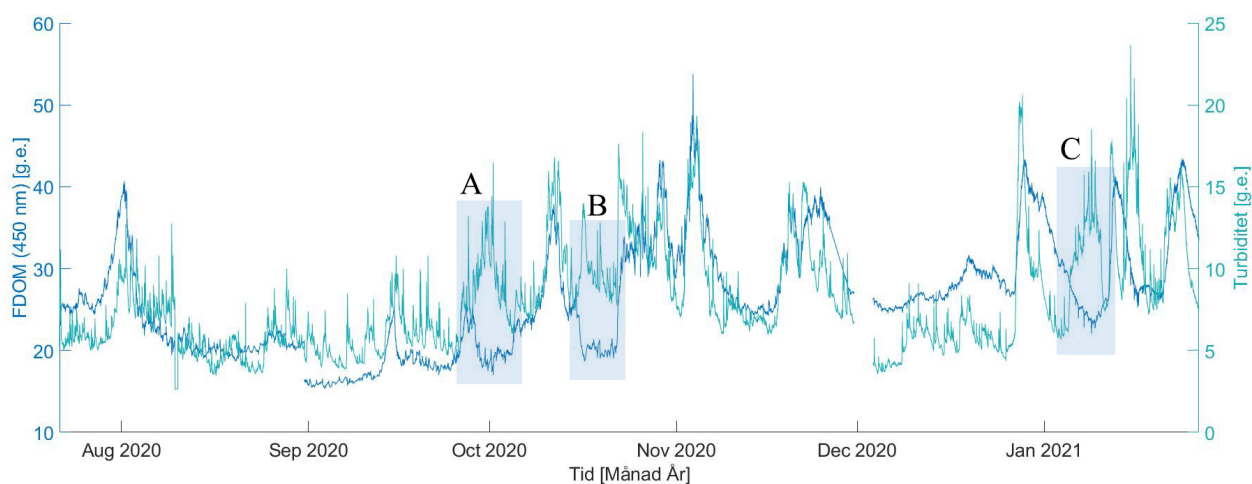
Avslutningsvis kan följande korrelationer gällande halten *E.coli* i vattnet och olika påverkansfaktorer noteras

- De studerade *E.coli*-graferna tyder på att det finns ett visst samband mellan FDOM (450 nm), CDOM (280 nm och 350 nm) och *E.coli*.
- Liknande samband kan ses för PAH (FDOM), med undantag för perioden augusti till oktober.

6.3.2 Turbiditet

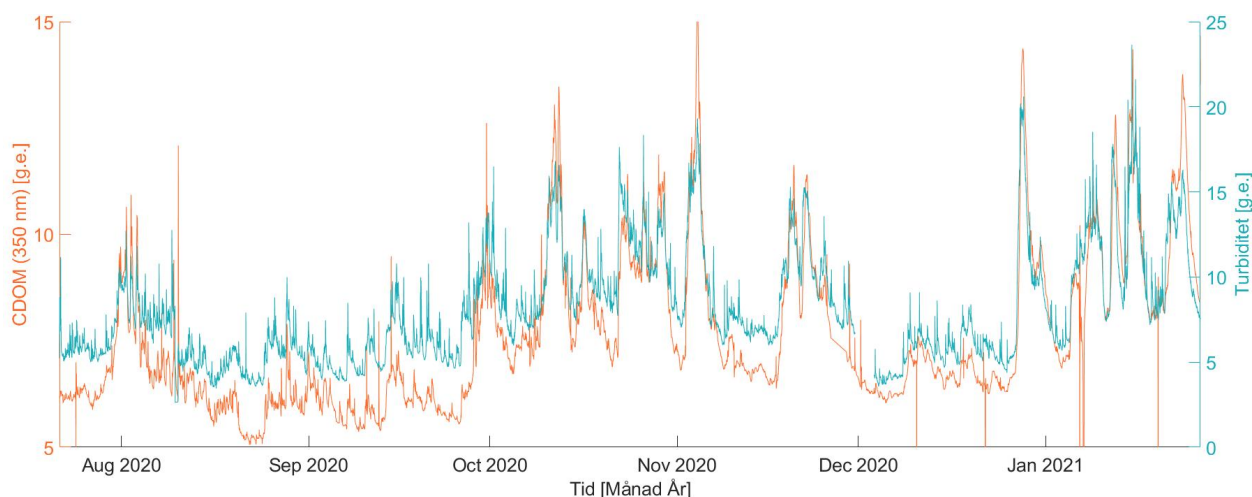
Mängden turbiditet är en viktig parameter att undersöka gällande kvalitet av dricksvatten. Ju högre turbiditeten är, desto större är sannolikheten att vattnet innehåller halter av ämnen och föroreningar som kan påverka vattenrensningen och kvaliteten på dricksvattnet. Därav studeras turbiditet i förhållande till sensorernas mätvärden samt de övriga påverkansfaktorerna.

I Figur 6.29 jämförs turbiditet och FDOM (450 nm). Det kan direkt noteras att data för turbiditeten saknas i början av december. Anledningen är den tidigare nämnda rengöringen av EXO2-sonden. Graferna följer varandra relativt väl, dock inte under hela tidsperioden. Exempel på avvikelser ses i början och mitten på oktober samt i början av januari, dessa avvikelser markeras som A, B och C i figuren. I båda fall ökar turbiditeten samtidigt som FDOM (450 nm) minskar. Det kan bero på att turbiditeten i vattnet ökar men mängden av humusliknande FDOM är mindre och därav går graferna åt motsatta riktningar.



Figur 6.29: FDOM (450 nm) och turbiditet för tidsperioden juli 2020 till januari 2021. Avvikande perioder markeras med A, B och C.

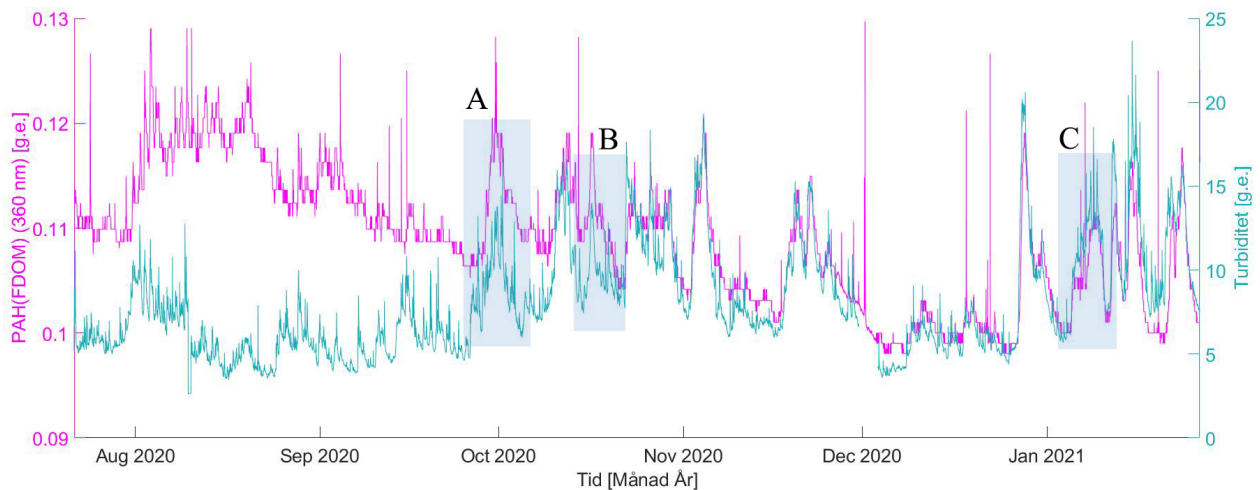
Även eventuella samband mellan turbiditet och halten CDOM (350 nm) analyserades. Enligt Figur 6.30 kan det noteras att de följer varandra oerhört bra och några avvikelser är svåra att finna.



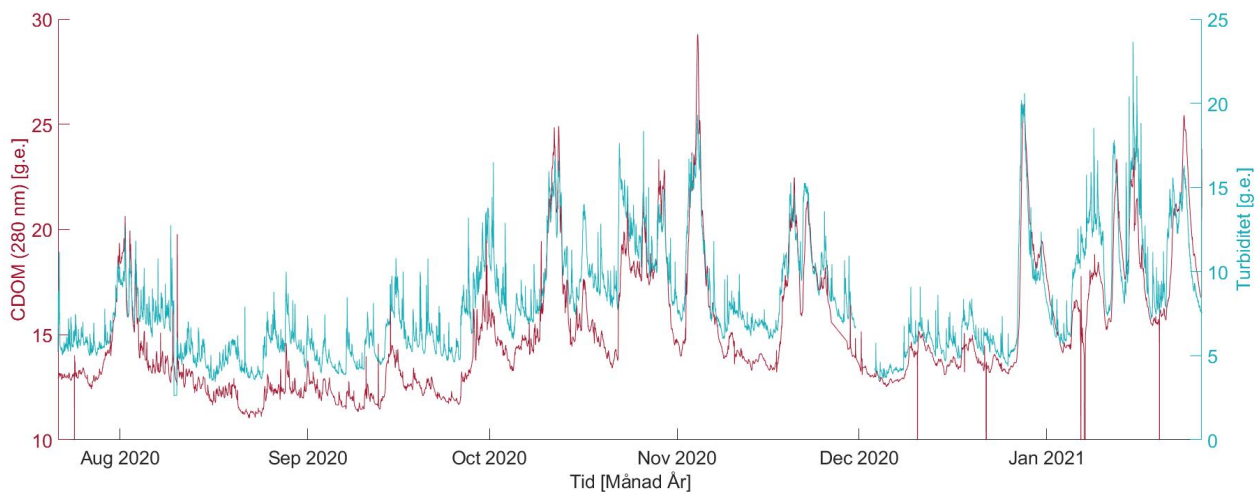
Figur 6.30: CDOM (350 nm) och turbiditet för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.

Vidare analyserades turbiditeten mot PAH (FDOM) i Figur 6.31, de följer varandra väl från oktober och framåt. Värt att anmärka är att de avvikelser som upptäcktes i Figur 6.29 i oktober och januari ej finns för PAH (FDOM), dessa områden är markerade som A, B och C i figuren.

I Figur 6.32 analyseras CDOM (280 nm) i förhållande till turbiditeten. Även här tycks CDOM (280 nm) följa turbiditeten lika väl som CDOM (350 nm) i Figur 6.30.



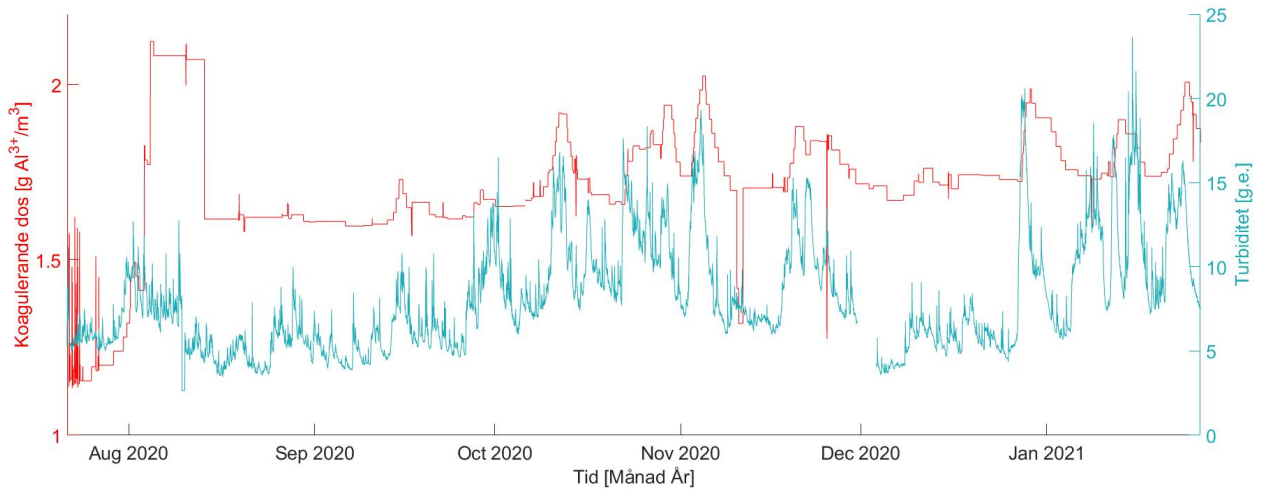
Figur 6.31: PAH (FDOM) och turbiditet för tidsperioden juli 2020 till januari 2021. Avvikande perioder markeras med A, B och C.



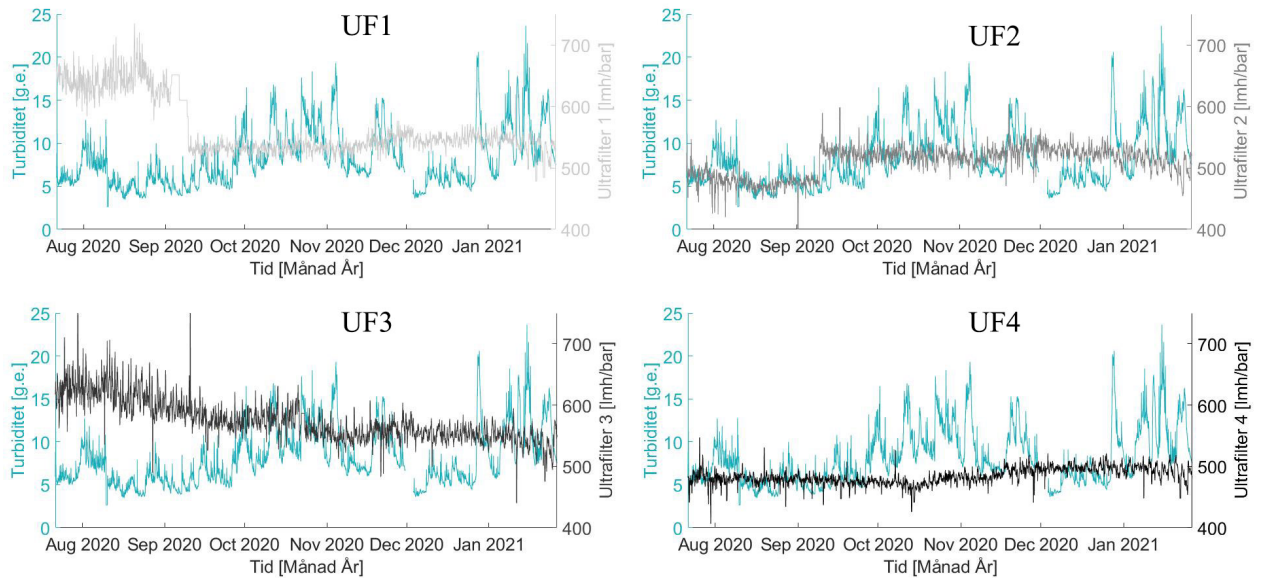
Figur 6.32: CDOM (280 nm) och turbiditet för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.

En möjlig korrelation som också analyseras är den koagulerande dosen mot turbiditeten. I Figur 6.33 är det tydligt att de följer varandra bra under hela tidsintervallet vilket tyder på att den här delen av reningssystemet anpassar den koagulerande dosen väl gentemot ändringar i turbiditetsdata.

En analys över huruvida turbiditeten i älven kunde ha en påverkan på permeabiliteten för de fyra ultrafiltren gjordes också. Resultatet av analysen presenteras i Figur 6.34. Likt analysen mellan permeabilitet och halten FDOM samt CDOM i älven visas samma trend av att permeabiliteten minskar då turbiditeten ökar, framförallt i början av augusti.

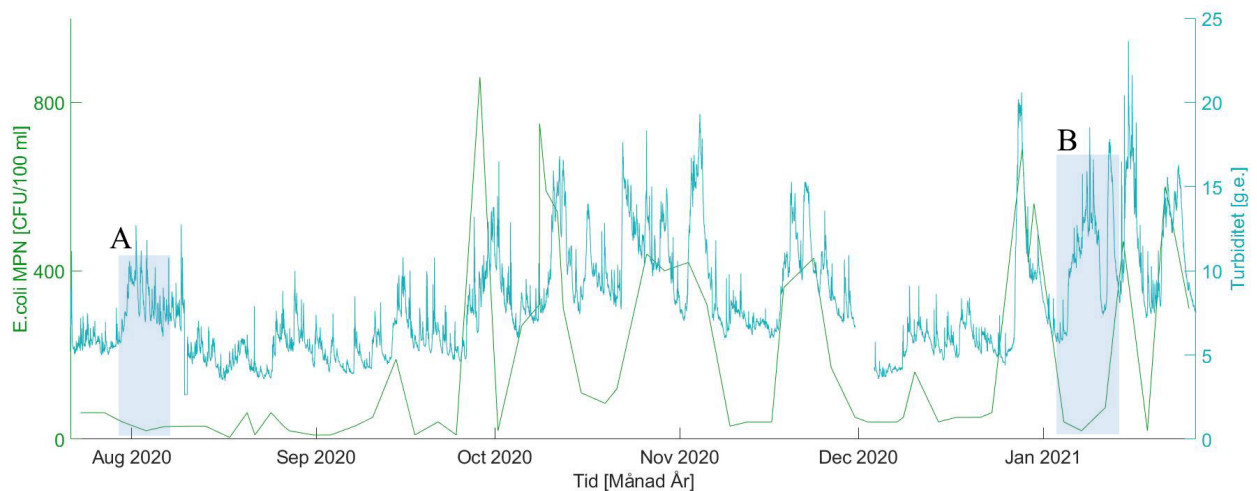


Figur 6.33: Koagulerande dos och turbiditet för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.



Figur 6.34: De fyra ultrafiltrens permeabilitet och turbiditet för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.

I Figur 6.35 analyseras *E.coli* mot turbiditeten. De följer varandra bra förutom i augusti och i början av januari. Avvikelsemarkeras som A och B i figuren. I augusti håller sig halten *E.coli* på en relativt stabil nivå, i januari sjunker halten trots en ökning i turbiditeten.



Figur 6.35: *E.coli* MPN och turbiditet för tidsperioden juli 2020 till januari 2021. Avvikande perioder markeras med A och B.

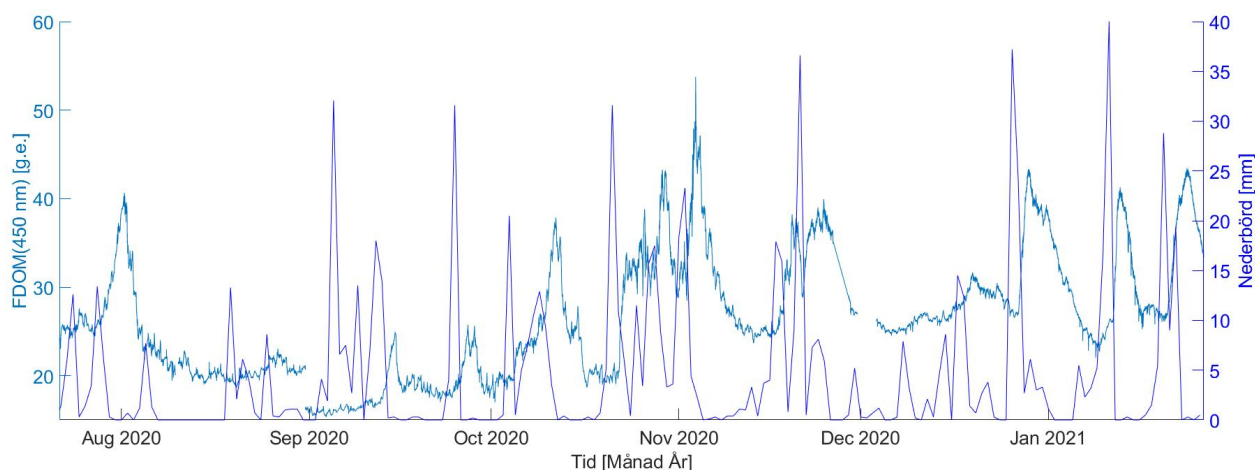
Efter att ha analyserat samband mellan olika parametrar och turbiditet kan följande slutsatser dras

- Både CDOM (350 nm) och CDOM (280 nm) följer turbiditeten mycket väl, oavsett om turbiditeten ökar eller minskar, under den period som analyserats.
- FDOM (450 nm) följer turbiditeten relativt bra med bara några enstaka avvikelser i framförallt oktober och i början av januari. Även PAH (FDOM) följer turbiditeten bra förutom i början av den analyserade perioden.
- Korrelationer mellan dricksvattenbehandlingsfilter samt kemikalier och turbiditeten verkar finnas i viss utsträckning.
- Även halten *E.coli* verkar ha ett samband med turbiditeten i älven.

6.3.3 Nederbörd

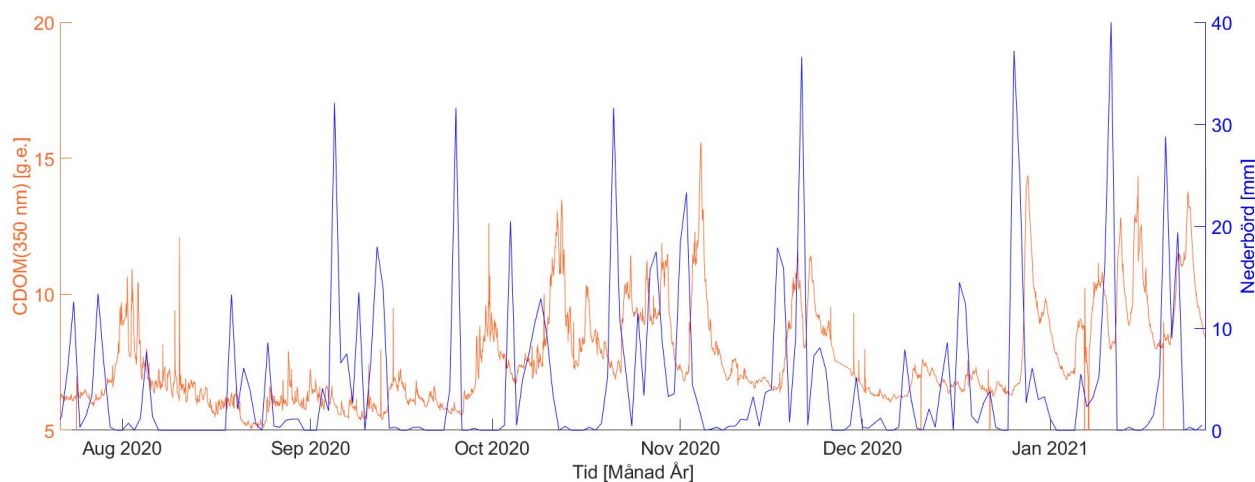
En faktor som förväntades påverka hur halten FDOM och CDOM i älven ser ut var nederbörden. För att begränsa arbetets omfattning togs endast nederbörd i området kring Kungälvsvattenreningsverk i beaktning. Data för nederbörd hämtades från SMHI:s mätstation i Mollsjönäs.

I Figur 6.36 kan det noteras att halten FDOM (450 nm) tycks stiga strax efter att nederbörd noterats i området kring reningsverket, framförallt efter bytet till en korrekt kalibrerad EXO2-sond i början av september. Ett möjligt samband skulle kunna vara att det finns döda löv och dylikt under hösten som bidrar till mer humusämnen i älven i samband med ökad nederbörd.



Figur 6.36: FDOM (450 nm) och nederbörd för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.

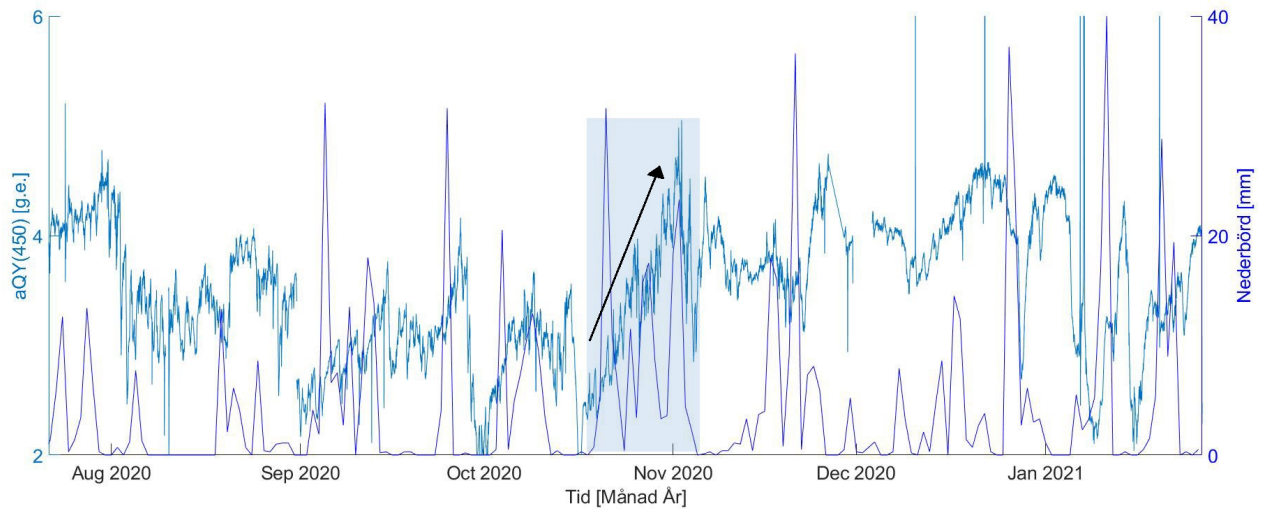
Vidare analyserades möjliga samband mellan halten CDOM (350 nm) och nederbörd, vilket kan ses i Figur 6.37. På samma sätt som för FDOM (450 nm) så tycks CDOM (350 nm) stiga strax efter en period med nederbörd, särskilt under höst och vinter.



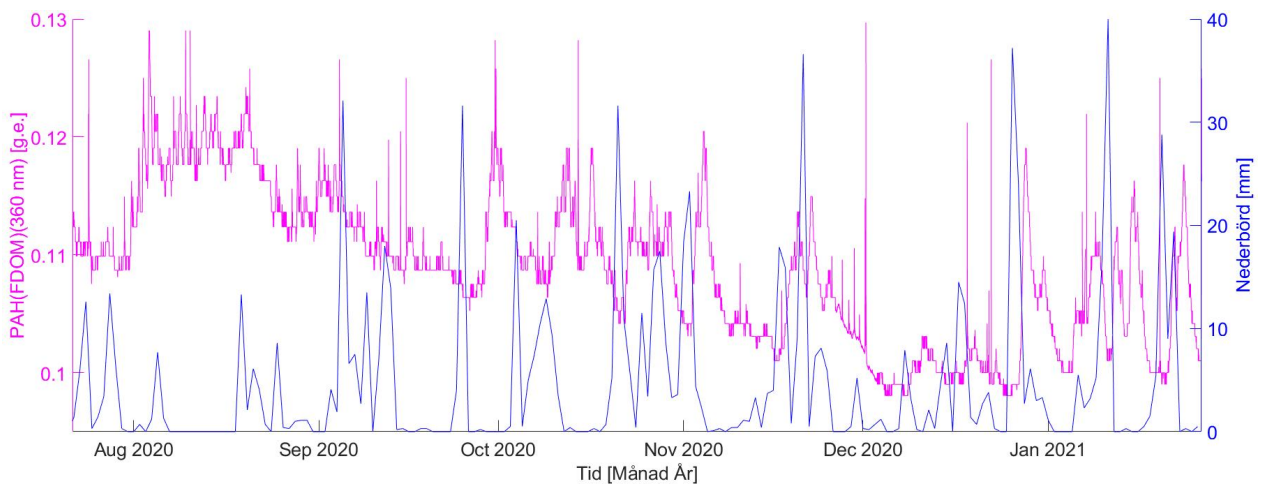
Figur 6.37: CDOM (350 nm) och nederbörd för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.

Då FDOM (450 nm) är en del av CDOM (350 nm) studeras aQY (450) i förhållande till nederbörden i Figur 6.38. Det verkar som att vid ihållande nederbörd så spelar halten FDOM (450 nm) en allt större roll för aQY (450), vilket kan noteras kring slutet av oktober och början av november. Utöver att studera FDOM (450 nm) och CDOM (350 nm) undersöktes även PAH (FDOM) tillsammans med nederbörd, se Figur 6.39. Nederbörden och PAH (FDOM) tycks korrelera från oktober och framåt med en viss förskjutning.

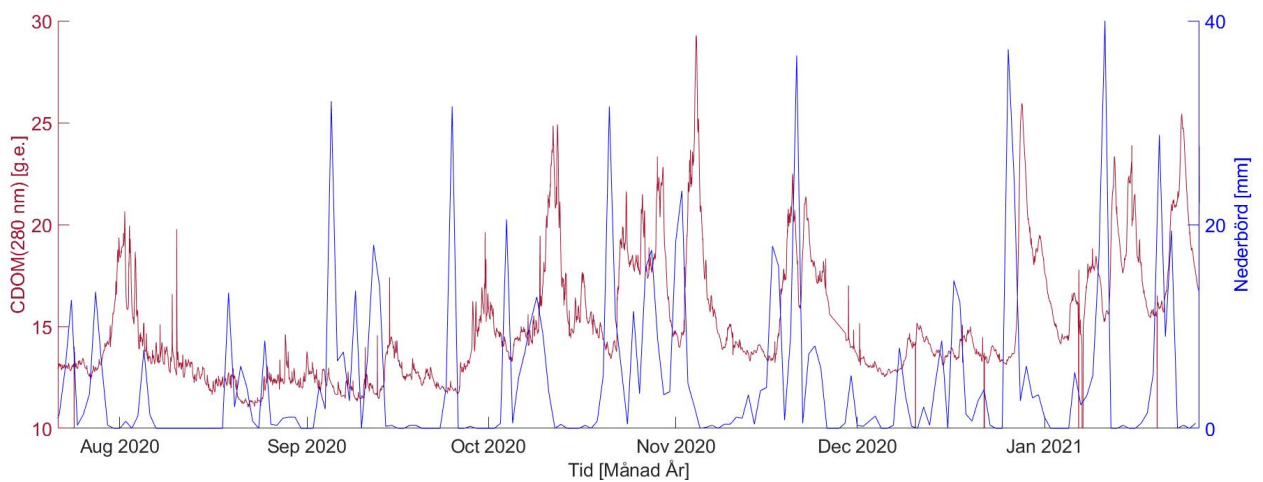
Halten CDOM (280 nm) analyserades också i förhållande till nederbörden och även här tycks halten CDOM (280 nm) öka strax efter en period med nederbörd vilket syns i Figur 6.40. De uppmätta halterna för CDOM (280 nm) är också något högre än för CDOM (350 nm) under samma period. Ett tydligt exempel är topparna i början av november, se Figur 6.37.



Figur 6.38: aQY (450) och nederbörd för tidsperioden juli 2020 till januari 2021. Markerad period visar en ökning av aQY (450) vid ihållande nederbörd.

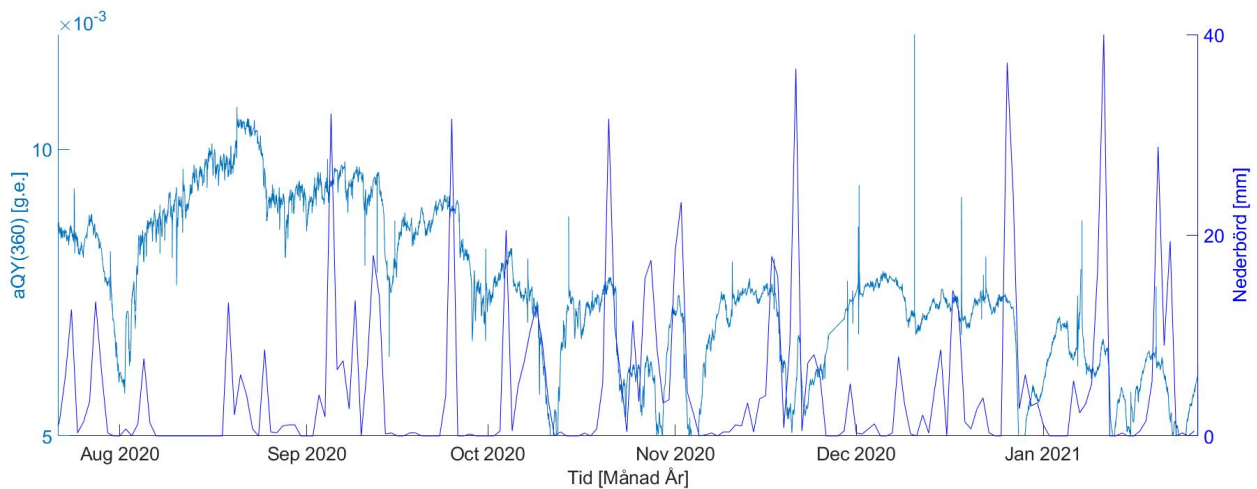


Figur 6.39: PAH (FDOM) och nederbörd för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.



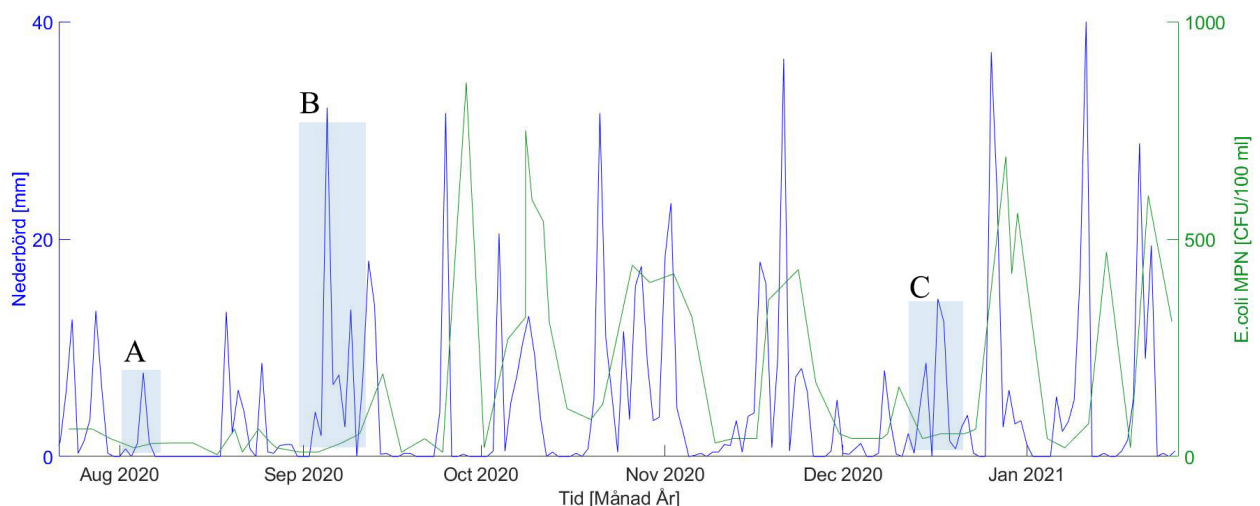
Figur 6.40: CDOM (280 nm) och nederbörd för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.

För PAH (FDOM) och CDOM (280 nm) undersöktes aQY (360) mot nederbörden i området, se Figur 6.41. Här kunde ingen uppenbar korrelation noteras.



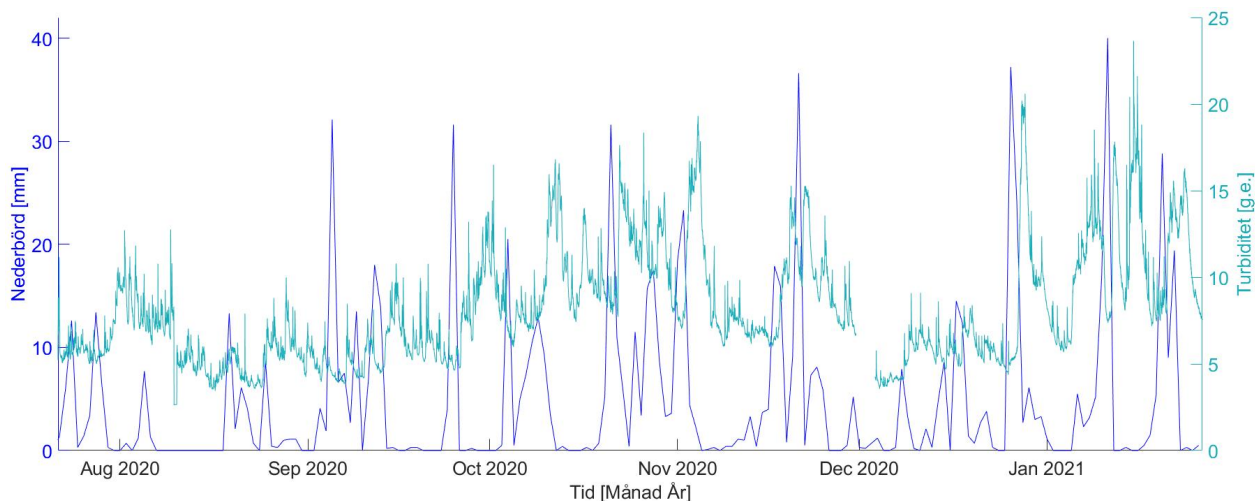
Figur 6.41: aQY (360) och nederbörd för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.

Utöver data från sensorerna studeras även nederbörden i förhållande till halten *E.coli*. I Figur 6.42 kan det noteras att det blir en ökning av halten *E.coli* efter att det varit mycket nederbörd, vilket tyder på att det kan finnas ett samband, men även här finns det avvikande punkter. I början av augusti ökar nederbörden till viss del men återspeglas inte av en höjd *E.coli*-halt. I början av september ses en hög topp följt av två mindre toppar i nederbörden men för *E.coli* är det enbart en lite lägre topp. Även i mitten av december avviker *E.coli*, där den har en liten topp samtidigt som det är flera toppar för nederbörden. Dessa tre avvikande perioder markeras som A, B och C i figuren.



Figur 6.42: Nederbörd och *E.coli* MPN för tidsperioden juli 2020 till januari 2021. Avvikande perioder markeras med A, B och C.

En viss korrelation mellan nederbörd och turbiditet tycks vara noterbar i Figur 6.43, dock med en viss förskjutning. Troligtvis följer de varandra bäst under hösten då det är under den perioden som det finns stor tillgång till löst material, vilket kan dras med ned i älven via nederbörd.



Figur 6.43: Nederbörd och turbiditet för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.

Några slutsatser som kan dras av analysen av påverkan av nederbörden i området kring Kungälv's vattenreningsverk på sensorernas mätningar av halten FDOM (450 nm), CDOM (280 nm och 350 nm) och PAH (FDOM) är

- Halterna FDOM (450 nm), CDOM (280 nm) och CDOM (350 nm) ökar vid nederbörd. En möjlig förklaring skulle kunna vara att nederbörden drar med sig humusliknande ämnen till älven.
- Nederbördens påverkan på PAH (FDOM) är först noterbar senare under hösten men inte under augusti och september.
- Halten *E.coli* tycks gå upp vid nederbörd i vissa fall.
- Ett samband mellan nederbörd och turbiditet verkar finnas, med en förskjutning i tid.

6.3.4 Vattenflöde i Göta älv

För vattenflödet i Göta älv uppmätt vid kraftverket i Lilla Edet undersöktes möjliga korrelationer till halten FDOM (450 nm), CDOM (280 nm och 350 nm), PAH (FDOM) och övriga påverkansfaktorer i området kring Kungälv's vattenreningsverk, se figurer i Bilaga B. Inga tydliga korrelationer hittades.

7

Diskussion

I det här kapitlet diskuteras det huruvida valet av källor som gjorts är lämpligt eller inte, då personlig kommunikation och produktmanualer till viss del har använts. Även olika beslut som tagits för att kunna genomföra projektet diskuteras. Till sist granskas tillförlitligheten av resultatet, både med avseende på vad som visualiseras i graferna och hur datahanteringen i MATLAB har gått till.

7.1 Utvärdering av metod

Metoden i arbetet består huvudsakligen av två delar, bedömning av källor för att bygga upp den teoretiska bakgrunden samt hur genomförandet av behandling av data gått till väga. I avsnittet nedan diskuteras valen av källor som gjorts och anpassningar i genomförandet.

7.1.1 Källkritik

För de teoretiska avsnitten i arbetet användes främst vetenskapliga artiklar, uppslagsverk, kurslitteratur och myndighetssidor. De flesta källorna är uppdaterade och relevanta så till vida att de är publicerade under 2010- och 2020-talet. Ett fåtal källor är publicerade under 2000-talet och någon enstaka från 1990-talet. Trots det anses samtliga ha en hög pålitlighet och relevans.

Avsnittet om de optiska sensorerna bygger främst på produktmanualer och andra skrifter utgivna av sensorernas tillverkare. En uppenbar nackdel är att tillverkare och distributörer givetvis är partiska i sina skrifter. I största möjliga mån används därför endast rent teknisk information från dessa källor. Däremot understöds de påståenden och information som finns i manualerna inte av någon annan typ av källa på grund av att det inte tycks vara tillgängligt.

Arbetet innehåller också en del personlig kommunikation. Främst i specifika frågor avseende Kungälvsvattenrensningens verk och mätstationen södra Nol, då båda utgör en central del i arbetet. Den här informationen finns inte tillgänglig via andra källor, därav har informationen inte styrkts genom exempelvis litteraturstudier.

7.1.2 Genomförande

I ett initialt skede av arbetet valdes de våglängder som har varit i fokus genom undersökningen av data. Då valet gjordes användes mindre högupplösta figurer än Figur 4.1 och därav

togs beslutet att använda 280 nm och 350 nm för mätningar av CDOM. Ett bättre alternativ utifrån Figur 4.1 hade möjligen varit 290 nm och 370 nm då de är mer centrala i det intressanta excitationintervall. Intervallen i figuren är dock inte exakta och kommer att variera något beroende på var prover tas. Därav tros valet av våglängder inte ha en stor påverkan på resultatet.

Efter beslutet av vilka våglängder som skulle analyseras i projektet justerades viss data med kommandot `smoothdata`. Mätdata för FDOM (450 nm), CDOM (280 nm och 350 nm) samt PAH (FDOM) justerades för att exkludera avvikande värden. Justeringar med kommandot gjordes även för turbiditeten, absorbansen, flödet samt permeabiliteten. Det gjordes en bedömning tidigt i projektet att det var nödvändigt att exkludera mätdata som verkade avvika avsevärt från den generella trenden gentemot närliggande mättider. Då generella trender var det intressanta utifrån rapportens frågeställningar förenklades analysen av att inte ha med plötsliga spikar i dataseten som antingen beror på felaktigheter i mätvärdet eller att någon slumpmässig och kortvarig förorening påverkat ett mätvärde. Det bedömdes som en fördel att många mätvärden med täta intervall används, då trenderna inte påverkas nämnvärt av att jämna ut enstaka data. Exempel på hur rådata såg ut jämfört med behandlad data visas i Bilaga C.

Mätvärdena för FDOM (450 nm) justeras ytterligare. Data korrigeras för både temperatur, turbiditet och inre filtereffekt. Konstanterna för koefficienterna ρ och r_p fanns redan beräknade i källan Hoffmeister et al. (2020) och används i projektet, då data för att ta fram egna motsvarande värden saknas. Tillsammans med de givna konstanterna används egna mätdata för turbiditet och FDOM (450 nm) vid beräkning av ρ och r_p . Eftersom konstanterna för ρ och r_p är hämtade från ett annat arbete kan deras korrekthet när de appliceras i det här projektet ifrågasättas. Dock anses en korrektion för temperatur vara nödvändig vid den här typen av fluorescensmätningar.

Även en korrigering för turbiditet och inre filtereffekt tycktes vara nödvändig. Koefficienten r_d korrigerar för inre filtereffekt med absorbans vid 254 nm enligt Hoffmeister et al. (2020). I det här projektet beräknas r_d genom en metod föreslagen av Kothawala et al. (2013), med absorbans vid excitations- och emissionsvåglängderna 365 nm respektive 450 nm. Våglängderna gjorde att IFE tar hänsyn till mätdata för det här projektet, vilket gör korrigeringen mer trovärdig, trots att korrigeringen för IFE är mycket liten. Samtliga korrigeringar för FDOM (450 nm) anses acceptabla efter en analys av Figur 6.7, där FDOM (450 nm) jämförs med och utan samtliga korrigeringar.

FDOM (450 nm) är de enda mätdata som korrigerades för temperatur, turbiditet och inre filtereffekt. Data för FDOM (450 nm) korrigeras på grund av att mätningar för fluorescens påverkas av tillståndet i vattnet. Mätdata för PAH (FDOM) från sensorn *EnviroFlu-HC* var korrigerad för temperatur enligt Watras et al. (2011) när den erhöles, men inte för turbiditet eller inre filtereffekt. En korrektion för turbiditet kunde inte utföras på grund av att data för det inte är tillgänglig. Därför är det möjligt att data från *EnviroFlu-HC* inte är lika pålitlig i jämförelse med data från *EXO fDOM Smart Sensor*. Data för CDOM (280 nm och 350 nm) korrigerades inte alls. Det beror på att sensorn *Spectrometer Probe V2* som mäter absorbans inte är lika känslig för förändringar i temperatur och turbiditet samt den inre filtereffekten.

En större justering av data gjordes vid inverteringen av de mätvärden som erhöles från

EnviroFlu-HC. Behandlingen motiverades med att halten PAH (FDOM) tycktes gå upp trots att det blev kallare samt att den inte följer halten CDOM i vattnet, se Figur 6.3. En möjlig förklaring till de höga halterna som observeras i augusti och september skulle kunna vara att proteinliknande FDOM-komponenter har ett emissionsmaximum inom *EnviroFlu-HC*:s bandpass. I början av den undersökta perioden är vattentemperaturen hög, vilket också bidrar till en hög biologisk aktivitet, till skillnad från slutet av perioden då det är vinter. Den givna data uppges, som nämnts ovan, redan vara temperaturkorrigerad enligt ekvation 4.2 i Watras et al. (2011). Det kan dock vara värt att undersöka om en ytterligare korrektion för turbiditet och inre filtereffekt krävs.

I samtliga grafer i resultatet kan ett antal kvarvarande avvikande värden noteras. Efter försök med många olika inställningar av kommandot `smoothdata` i MATLAB beslutades det att dem ska lämnas kvar för att bevara så mycket data som möjligt utan att göra allt för stora förändringar.

7.2 Resultatets tillförlitlighet och MATLAB-skriptet

Resultatet för det här arbetet består av två huvuddelar; bedömning av insamlad data och det MATLAB-skript som tagits fram för analys av nämnd data. I avsnittet görs först en genomgående granskning och bedömning av den analytiska delen av resultatet, därefter behandlas problemen och svårigheterna med framtagningen av MATLAB-skriptet.

7.2.1 Granskning av resultat

Mätdata som analyseras i projektet är hämtad från olika platser längs Göta älv. Dock ligger samtliga punkter utom Mollsjönäs i direkt anslutning till Göta älv. Eftersom data erhöles på olika platser, se Figur 1.1, går det inte att genomföra en precis analys av vilka påverkansfaktorer som har en effekt på sensorernas mätvärden. Till exempel skulle avvikelser för *E.coli* i början av augusti, se Figurerna 6.25, 6.26 och 6.28, kunna förklaras av att *E.coli*-halten i vattnet ökat efter att vattnet passerat mätstationen i Garn. Vilket är mycket möjligt eftersom vattnet i älven hinner flöda cirka 17 km innan det når de optiska sensorerna. Vidare har även avståndet till mätstationen i Mollsjönäs en inverkan på resultatet eftersom den ligger nästan 8 km ifrån de optiska sensorerna. Det innebär att mängden nederbörd vid älven, i höjd med Kungälvsvattenreningsverk och mätstationen i södra Nol, kan sammanfalla med mätvärden från Mollsjönäs men även vara förskjutna i tiden. Vilket förklaras av att nederbörden varierar geografiskt, samt att nederbördsmolnen rör sig med vindens hastighet och riktning.

Resultatet bygger främst på bedömning av möjliga orsaker till förändring av halten FDOM (450 nm), CDOM (280 nm och 350 nm) och PAH (FDOM) i Göta älv samt hur dessa förändringar påverkar dricksvattenbehandlingen i Kungälvsvattenreningsverk. Analysen och bedömningen av de grafer som presenterats grundas främst i hur ändringarna av halterna DOM och PAH ser ut jämfört med variationer i *E.coli*, turbiditet, nederbörd och flöde i älven och inte på standardiserade analytiska metoder. Den enda standardiserade metod som användes var kvoten aQY. Resultatet bygger också på bedömningar av hur reningsverket presterar vid ändring av halten DOM och PAH. Samtliga resultat förutsätter därför att sensorer och andra mätinstrument som data hämtats från fungerar korrekt och uppvisar

verkliga skiftningar för den undersökta parametern.

Värt att notera är att sensorerna har en hög noggrannhet, dock endast om de underhålls rätt. Om en sensor inte regelbundet kalibreras och rengörs på ett korrekt sätt kommer mätningarnas precision att minska. Då sensorerna inte primärt används för exempelvis forskning, och därav inte sköts under mycket välordnade former, gjordes valet att arbeta med godtyckliga enheter (g.e.) för mätdata från de tre sensorerna. Ett flertal diskontinuiteter i olika mätdata observerades, vilka vid kontakt med ansvariga visade sig vara orsakade av att sensorer antingen bytts ut eller tillfälligt tagits ur bruk för rengöring och kalibrering. För övrig data från dricksvattenproduktion, nederbörd och halten *E.coli*, används de angivna enheterna då de förväntas vara korrekta och följa de standarder som används idag.

Doseringen av fällningskemikalie tycks mestadels fungera korrekt. Men även då den stora avvikelserna under sommaren bortses från, noteras ett antal avvikelser i UV₂₅₄-absorbansen efter ultrafiltren, se Figur 6.15. Avvikelsena är kopplade till höga värden för UV₂₅₄-absorbans innan ultrafiltren, vilket innebär att mängden fällningskemikalie inte är optimal i de här fallen utan en högre dos hade varit bättre.

En viss osäkerhet i permeabilitetsdata för ultrafiltren finns på grund av att tryckmätarna uppges vara av en relativt enkel modell, vilket medför att pålitligheten hos mätvärdena kan ifrågasättas. Tryckmätarna har inte heller en särskilt hög precision vilket gör att små förändringar är svåra att notera och graferna ser förhållandevis konstanta ut. Därför får samtliga tolkningar av ändring i permeabiliteten göras med försiktighet, särskilt den nedåtgående trenden i ultrafilter tre.

En del av resultatet är att flödet i Göta älv inte tycks påverka sensorernas mätningar av DOM och PAH. En möjlig förklaring är att sensorerna inte sitter fritt ute i älven. Som tidigare nämnts så pumpas vatten från älven till mätstationen i södra Nol där sonden EXO2 sitter. Även *Spectrometer Probe V2* och *EnviroFlu-HC* sitter skyddade i en låda placerad vid inloppet till Kungälvsvattenreningsverk. Eftersom flödet dessutom styrs av väldigt många faktorer, inte minst vattenkraftverket i Lilla Edet, kan det ses som en klar fördel i de fall då data ska tillämpas i exempelvis reningsverket.

Samtliga av resultaten som diskuterats ovan togs fram med hjälp av det MATLAB-skript som var en del av syftet med arbetet.

7.2.2 Datahantering i MATLAB

En stor del av arbetet fokuserar på att bearbeta felaktigheter i de dataset som insamlats. För att kunna använda data till analys och beräkning i MATLAB krävs unika tidpunkter för mätningarna, vilket inte alltid är fallet. Kod som kontrollerar att två efterföljande mätpunkter tagits vid unika tider och var i kronologisk ordning skrevs, och dubletter eller mätvärden utan tidsangivelser gallrades bort. Dessutom användes funktionen `smoothdata` som jämnade ut dataseten från avvikande värden baserat på en median vilket också gör att faktiska mätpunkter påverkas. På grund av bortfall av punkter och justering av mätvärden finns en viss osäkerhet i resultatet, men eftersom mätvärdena var svårbehandlade gjordes en bedömning att hanteringen genererar det mest överskådliga resultatet.

Projektet baseras på data från flera typer av sensorer, med olika dataloggningsprogram, som dessutom ägs av olika kommuner och förvaltare. Därav är importen av mätvärden i MATLAB inte standardiserad vilket medför svårigheter i skapandet av ett skript för hantering av de dataseten. De erhållna dataseten är dessutom uppdelade i filer med olika långa perioder och olika antal mätpunkter vilket försvårade arbetet ytterligare och en automatiserad import och behandling av data var svår att åstadkomma.

Inledningsvis fokuserades arbetet på att producera ett MATLAB-skript och visualisera tillgänglig data. För att fördjupa arbetets analys av möjliga korrelationer ytterligare hade det varit värdefullt att genomföra linjära regressioner för de intressanta dataseten men på grund av ovannämnda problem begränsades arbetet till de grafer som presenterats i resultatet.

8

Slutsats

Den här studien visar att sensorer ger stora mängder informationsrik data. En av de största utmaningarna med de stora datamängderna är att finna ett effektivt sätt att identifiera de förändringar som är av värde. Utifrån studien är det också tydligt att *in-situ* sensorer ger mycket information som traditionella våtkemiska analyser går miste om.

Undersökningen visar att sensorerna vid Kungälvsvattenrensning ger data som på många sätt överlappar varandra. Den data som tycks vara mest värdefull för reglering av reningsverket på daglig basis kommer främst från *EXO fDOM Smart Sensor* samt *Spectrometer Probe V2*. Av den information som kunde uttydas i data från *EnviroFlu-HC* verkar inget vara av större värde för det kontinuerliga reningsarbetet, men då det finns en risk för dieselutsläpp på grund av fartygstrafik i Göta älv är den värdefull.

En slutsats som kan dras av projektet är att nederbörden verkar vara en faktor som, med viss förskjutning, påverkar många av de förändringar som noteras i CDOM och FDOM. Dock är SMHI:s nederbördsdata endast dygnsvärden vilket gör det svårt att bedöma hur stor förskjutningen är och ungefär när en ändring i regleringen av reningsverket skulle behövas.

Det huvudsakliga syftet med arbetet var att jämföra data över DOM och PAH från de optiska sensorerna vid Kungälvsvattenrensning och mätstationen i södra Nol. Som resultatet visar så följer förändringar av halten FDOM (450 nm) med CDOM (350 nm) varandra väldigt väl, vilket var det förväntade resultatet. Däremot skiljer sig deras dataset åt markant vid tre tillfällen, vilket även blir tydligt då aQY (450) analyseras. Vid analysen mellan korrigerad data för PAH (FDOM) och CDOM (280 nm) verkar graferna också följa varandra åt, med undantag för sommarperioden. Slutsatsen av analyserna är att optiska sensorer fungerar väl för att uppmärksamma förändringar i vattenkvaliteten och ändringar i vattnets komposition. Däremot är det svårt att tolka innebörden och vad som ligger bakom sådana förändringar, därför behövs det kompletterande data som ger mer information om vattnets kvalitet.

Vidare var syftet att undersöka hur förändringar i råvattenkvalitet påverkar dricksvattenbehandlingens kvalitet samt studera eventuella förändringar i hur reningsprocessen utförs då ingen avvikelse i sensordata upptäcks. Då data för mängden koagulerande dos undersöktes, vilket är en av de viktigaste aspekterna att ta i beaktning vid en analys av vattenrensningssprocessen, kunde det konstateras att regleringen av koagulerande dos till stor del tycks fungera bra och bidra till en god vattenrening. Dock med undantag för den stora avvikelsen under sommaren och de mindre avvikelserna i Figur 6.15, då regleringsprocessen inte fungerade optimalt. En slutsats som kan dras är att doseringen bör regleras uppåt i de fall där höga

värden för UV_{254} -absorbans innan ultrafilter uppmäts, för att på så sätt uppnå en konstant kvalitet. Trots dessa mindre avvikelser fungerar doseringen generellt bra, vilket blir tydligt genom att undersöka graferna för halten FDOM (450 nm), CDOM (350 nm), PAH (FDOM) samt CDOM (280 nm) mot mängden koagulerande dos eftersom den tillsatta dosen ökade i samband med att halten DOM och PAH (FDOM) ökade. Däremot fanns det ett antal avvikelser då halten PAH (FDOM) undersöktes mot mängden koagulerande dos, orsaken till det är okänd.

Ytterligare en parameter som undersöktes vid analysen av vattenreningsprocessen var permeabiliteten för reningsverkets ultrafilter. Det gjordes för att kontrollera om det blev någon förändring av permeabiliteten vid drastiska förändringar av värden för FDOM (450 nm), CDOM (350 nm), PAH (FDOM) och CDOM (280 nm). Genom att studera intressanta punkter i förändring av aQY kunde slutsatsen dras att permeabiliteten inte verkar påverkas då kompositionen i vattnet förändras. Det enda samband som kunde ses var att permeabiliteten minskade till en viss del vid drastiskt förhöjda värden för FDOM (450 nm), CDOM (350 nm), PAH (FDOM) och CDOM (280 nm). En minskning av permeabiliteten indikerar på att reningen försvåras eftersom trycket i filtret ökar. Slutsatsen är därför att Kungälvsvattenreningsverk ultrafilter generellt fungera mycket bra, vilket kanske inte alltid är fallet för ett reningsverk. Det noterades dock att ultrafilter tre inte verkar vara helt korrekt då dess permeabilitet sjönk under hela den studerade perioden. Därav rekommenderas Kungälvsvattenreningsverk att undersöka vad den bakomliggande orsaken till minskningen kan vara.

Ett annat mål som skulle uppnås var att bidra till ökad förståelse kring vad som ligger bakom förändringar i sensorsignalerna över tid. För att kunna svara på det krävdes en analys av kompletterande data för att få en uppfattning om olika påverkansfaktorer. En av slutsatserna som kunde dras var att det tycks finnas ett samband mellan uppmätt mängd *E.coli* och halten DOM samt PAH (FDOM) i vattnet eftersom det fanns trender då halterna ökade och minskade i korrelation till varandra. Orsaken till korrelation mellan FDOM (450 nm) och *E.coli* kan vara att *E.coli* producerar fluorescerande NAD^+ . Gällande turbiditet som påverkansfaktor följde den halterna av CDOM (350 nm) och CDOM (280 nm) avsevärt bra, vilket var förväntat. Det fanns också korrelationer mellan turbiditet och FDOM (450 nm) och PAH (FDOM), men inte ett lika tydligt samband. Det kunde även konstateras att turbiditeten verkar ha ett samband med halten *E.coli* i Göta älv vilket var väntat då även mikroorganismer kan sprida ljus och bidra till turbiditet. För att förutsäga halten *E.coli* som förväntas nå reningsverket är dock halten DOM, särskilt CDOM, att föredra.

En påverkansfaktor som också togs i beaktning var nederbörd i området kring Kungälvsvattenreningsverk. Då upptäcktes en korrelation mellan ökad halt DOM i vattnet och ökad nederbörd i området. En anledning skulle kunna vara att regn drar med sig humusliknande ämnen som fluorescerar inom *EXO fDOM Smart Sensors* bandpass, speciellt under hösten. Vilket även blev tydligt då nederbörden jämfördes mot turbiditeten eftersom det verkar finnas en korrelation mellan dessa, dock med en viss förskjutning i tid. Möjligen beror förskjutningen på mätstationernas geografiska placering. Då nederbörd analyserades mot halten *E.coli* hittades inga uppenbara samband. En sista påverkansfaktor som undersöktes var vattenflödet i Göta älv. Dock kunde inga tydliga korrelationer upptäckas på grund av att det inte tas mätningar av vattenkvaliteten direkt i älven. Slutsatsen av undersökning av de möjliga påverkansfaktorernas inverkan på råvattnet blir därför att Kungälvsvattenreningsverk re-

kommenderas att särskilt studera nederbördens påverkan på halten FDOM (450 nm). Det kan också vara av värde för reningsverket att notera väderförhållanden så som kraftig nederbörd och vind för att i framtiden kunna förbereda för större väderomslag.

En av frågeställningarna som skulle besvaras var om det finns någon indikation på att en PAH-kontaminering har skett. Data för PAH (FDOM) förväntades följa data för CDOM (280) men så var inte fallet, i stället tycktes den vara inverterad och korrigerades innan jämförelse med de andra parametrarna. Kungälvsvattenrensningens verk rekommenderas därför att se över sitt datahanteringssystem och kontakta leverantören för att undersöka vad som orsakar inverteringen. Slutsatserna i de ovannämnda styckena gör det tydligt att mätvärden för PAH (FDOM) avviker under perioden augusti till oktober och att avvikelsen inte tycks gå att förklara med hjälp av korrelationer mellan påverkansfaktorer. Anledningen skulle dock kunna vara att det under perioden bör finnas en hög biologisk aktivitet till följd av en högre vattentemperatur. Sensorn *EnviroFlu-HC* gör mätningar baserade på fluorescens vid våglängder runt 360 nm och bör därför detektera en stor mängd proteinliknande ämnen i vattnet, vilket skulle kunna förklara sensorns avvikande mätvärden under perioden augusti till oktober. Då en jämförelse gjordes mellan PAH (FDOM) och FDOM (450 nm) upptäcktes det en topp i PAH (FDOM)-grafnen i början på januari, där grafen för FDOM (450 nm) inte stämde överens. Det skulle kunna vara en indikation på en PAH-kontaminering, dock är det inte särskilt sannolikt. Dels på grund av att graferna mellan PAH (FDOM) och CDOM (280 nm) sammanfaller under perioden och dels av att en drastisk minskning i vattentemperatur skedde under januarimånad vilket kan leda till att sensorn genererade felaktiga mätvärden.

Till sist var syftet med arbetet att generera ett MATLAB-skript som kan användas för framtida utvärdering av data. Skriptet tycks fungera väl för att behandla och visualisera data för det här projektet, men utan modifieringar i koden är användbarheten för framtida analyser begränsad. Skriptet behöver idag anpassas för vilken typ av dataset som importeras samt för antalet mätpunkter som ingår i respektive dataset.

9

Vidare forskning

Eftersom den här studien fokuserade på att hitta korrelationer mellan olika mätdata så kunde godtyckliga enheter användas utan påverkan på resultaten. Däremot för framtida projekt som eventuellt kan behöva mer exakta mätdata, exempelvis för jämförelse med våtkemiska mätmetoder, måste säkerheten bakom kalibreringarna av sensorerna säkerställas tidigt, och med stor noggrannhet, om pålitliga resultat ska åstadkommas.

Många av de ändringar i vattnets komposition som noterades tycktes sammanfalla med väderfenomen eller omständigheter som är specifika för varje säsong. Därför hade en analys av data över flera år varit intressant att fördjupa sig i. Vidare tycks regn vara en faktor som ofta ligger bakom de förändringar som noterats. Att upprätta en egen mätstation för nederbörd vid reningsverket som kan användas i en längre analys är också av intresse.

Det skript som genererades för att bearbeta och visualisera data har begränsad användbarhet för framtida bruk. För att uppnå projektets syfte att skapa ett skript som ska vara användbart för framtida dataundersökning kommer det behövas mer fokus på programmeringsteknik och struktur. En framtida arbetsgrupp skulle ha stor nytta av individer med bakgrund inom datateknik, programmering och eventuellt automation. Alternativt behövs mer tid avsättas till kodning om sådana kunskaper är bristfälliga vid projektets start.

Referenser

- AustiaP. (2020). *Jablonski Diagram for EEM* [Bild]. Hämtad 22 april 2021, från https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jablonski_Diagram_for_EEM.jpg
- Avagyan, A., Runkle, B. R. & Kutzbach, L. (2014). Application of high-resolution spectral absorbance measurements to determine dissolved organic carbon concentration in remote areas. *Journal of Hydrology*, 517, 435–446. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.060>
- Boverket. (2021). *Samhällskrav på dricksvatten*. Hämtad 26 april 2021, från <https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/regler-om-dricksvatten/%5C%5Csamhallskrav-pa-dricksvatten/>
- Bulycheva, E., Korotkova, E., Voronova, O., Kustova, A. & Petrova, E. (2014). Fluorescence Analysis of E. coli Bacteria in Water. *Procedia Chemistry*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2014.10.031>
- Coble, P. G. (1996). Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy. *Marine Chemistry*, 51(4), 325–346. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(95\)00062-3](https://doi.org/10.1016/0304-4203(95)00062-3)
- Fairuz, O. A. & Zubir, M. J. M. (2015). *Optical system in measurement of water turbidity: Design and analytical approach*. IWA Publishing. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/chalmers/detail.action?docID=5338773&query=Optical+system+in+measurement+of+water+turbidity>
- Frimmel, F. & Abbt-Braun, G. (2009). Dissolved Organic Matter (DOM) in Natural Environments. I N. Senesi, B. Xing & P. Huang (Red.), *Biophysico-Chemical Processes Involving Natural Nonliving Organic Matter In Environmental Systems* (s. 367–406). John Wiley & Sons. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9780470494950.ch10>
- Göta älvs vattenvårdsförbund. (u. å). *Vad gör vi? : Fasta mätstationer*. Hämtad 4 februari 2021, från <https://www.gotaalvvvf.org/vadgorvi/fastamatstationer.html>
- Harvey, D. (2016). *Analytical Chemistry* (2.1). <https://open.umn.edu/opentextbooks/textbooks/486>
- Hoffmeister, S., Murphy, K. R., Cascone, C., Ledesma, J. L. & Köhler, S. J. (2020). Evaluating the accuracy of two: In situ optical sensors to estimate DOC concentrations for drinking water production. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 6(10), 2891–2901. <https://doi.org/10.1039/d0ew00150c>
- Holmberg, K. (2007). *Yt- och kolloidkemi*. Chalmers Tekniska Högskola.
- Kothawala, D. N., Murphy, K. R., Stedmon, C. A., Weyhenmeyer, G. A. & Tranvik, L. J. (2013). Inner filter correction of dissolved organic matter fluorescence. *Limnology and Oceanography: Methods*, 11(DEC), 616–630. <https://doi.org/10.4319/lom.2013.11.616>

- Lantmäteriet. (u. å). [Utsnitt av karta över Göta älv med egna tillägg för mätpunkter. Producerad i tjänsten Min karta]. Hämtad 4 maj 2021, från <https://minkarta.lantmateriet.se/>
- Lidén, A. (2020). *Membranfiltrering för dricksvattenberedning – en kunskapssammanställning* [Rapport Nr. 2020-4]. <http://vav.griffel.net/filer/svu-rapport-2020-04.pdf>
- LIVSFS. (2017:2). *Livsmedelsverkets föreskrifter om ändring i Livsmedelsverkets föreskrifter (SLVFS 2001:30) om dricksvatten*. Livsmedelsverket.
- Livsmedelsverket. (2020a). *Kemiska och radioaktiva parametrar*. Hämtad 19 februari 2021, från <https://kontrollwiki.livsmedelsverket.se/artikel/380/kemiska-och-radioaktiva-parametrar>
- Livsmedelsverket. (2020b). *Polycykliska aromatiska kolväten (PAH)*. Hämtad 22 februari 2021, från <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/miljogifter/polycykliska-aromatiska-kolvaten-pah>
- Morgan, J. J., Stumm, W., Hem, J. D. & by Staff, U. (2006). Water. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/0471238961.1618151613151807.a01.pub2>
- Murphy, K. R., Timko, S. A., Gonsior, M., Powers, L. C., Wünsch, U. J. & Stedmon, C. A. (2018). Photochemistry Illuminates Ubiquitous Organic Matter Fluorescence Spectra. *Environmental Science and Technology*, 52(19), 11243–11250. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02648>
- Naturvårdsverket. (2020). *Polycykliska aromatiska kolväten (PAH)*. Hämtad 24 april 2021, från <https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/Amnen/Ovriga-organiska-amnen/Polyaromatiska-kolvaten/>
- NCC. (u. å). *Kungälvsvattenverk*. Hämtad 8 februari 2021, från <https://www.ncc.se/vara-projekt/kungalvs-vattenverk/>
- s::can Messtechnik GmbH. (u. å). *spectro::lyser V3*. Hämtad 29 mars 2021, från <https://www.s-can.at/products/spectrometer-probes>
- s::can Messtechnik GmbH. (2011). *Manual - Spectrometer Probe V2* [Produktblad]. <https://www.qsenz.nl/application/files/6414/5502/6278/spectrometer-manual-V2-20111130.pdf>
- Schulman, J. H. (2020). Fluorescens. *AccessScience*. <https://doi.org/https://doi-org.proxy.lib.chalmers.se/10.1036/1097-8542.263100>
- Sillanpää, M. (2013). *Natural Organic Matter in Water: Characterization and Treatment Methods*. ProQuest Ebook Central. https://books.google.se/books?id=_57vAwAAQBAJ&lpg=PP1&ots=kpcjT7bme3&dq=natural%5C%20organic%5C%20matter&lr&pg=PR3#v=onepage&q&f=false
- TriOS Mess- und Datentechnik GmbH. (u. å). *enviroFlu*. Hämtad 10 mars 2021, från <https://www.trios.de/en/enviroflu.html>
- TriOS Mess- und Datentechnik GmbH. (2019). *enviroFlu - Operating Instructions* [Produktblad].
- Ulliman, S. L., Korak, J. A., Linden, K. G. & Rosario-Ortiz, F. L. (2020). Methodology for selection of optical parameters as wastewater effluent organic matter surrogates. *Water Research*, 170, 115321. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115321>
- Watras, C. J., Hanson, P. C., Stacy, T. L., Morrison, K. M., Mather, J., Hu, Y. H. & Milewski, P. (2011). A temperature compensation method for CDOM fluorescence sensors in

- freshwater. *Limnology and Oceanography: Methods*, 9(July), 296–301. <https://doi.org/10.4319/lom.2011.9.296>
- Wiederschain, G. Y. (2011). The Molecular Probes handbook. A guide to fluorescent probes and labeling technologies. *Biochemistry (Moscow)*, 76(11). <https://doi.org/10.1134/s0006297911110101>
- Wünsch, U. J., Bro, R., Stedmon, C. A., Wenig, P. & Murphy, K. R. (2019). Emerging patterns in the global distribution of dissolved organic matter fluorescence. *Analytical Methods*, 11(7), 888–893. <https://doi.org/10.1039/c8ay02422g>
- Wünsch, U. J., Murphy, K. R. & Stedmon, C. A. (2015). Fluorescence quantum yields of natural organic matter and organic compounds: Implications for the fluorescence-based interpretation of organic matter composition. *Frontiers in Marine Science*, 2(NOV), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fmars.2015.00098>
- Xylem. (2020). *EXO User Manual: Advanced Water Quality Monitoring Platform* [Produktblad]. <https://www.yisi.com/file%20library/documents/manuals/exo-user-manual-web.pdf>
- YSI. (u. å). *EXO fDOM Smart Sensor*. Hämtad 10 mars 2021, från <https://www.yisi.com/Product/id-599104-01/EXO-fDOM-Smart-Sensor>

A

Mätstationen i södra Nol

Figur A.1 presenterar uppställningen av sonden EXO2 i mätstationen södra Nol.

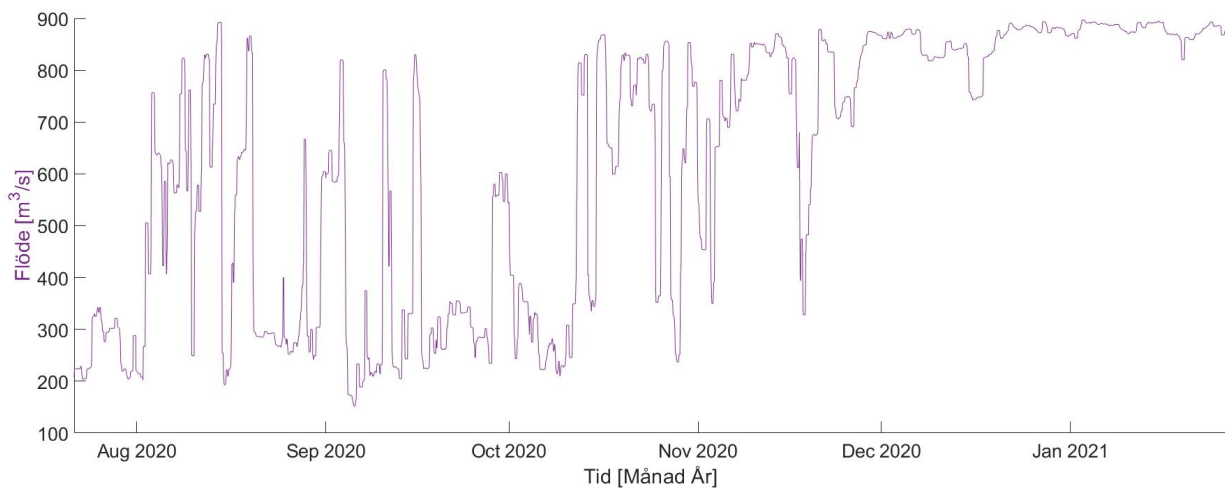


Figur A.1: Sondens sensorer är nedsänkta i en konstruktion av PVC-rör. Andréasson, J. (privat bild)

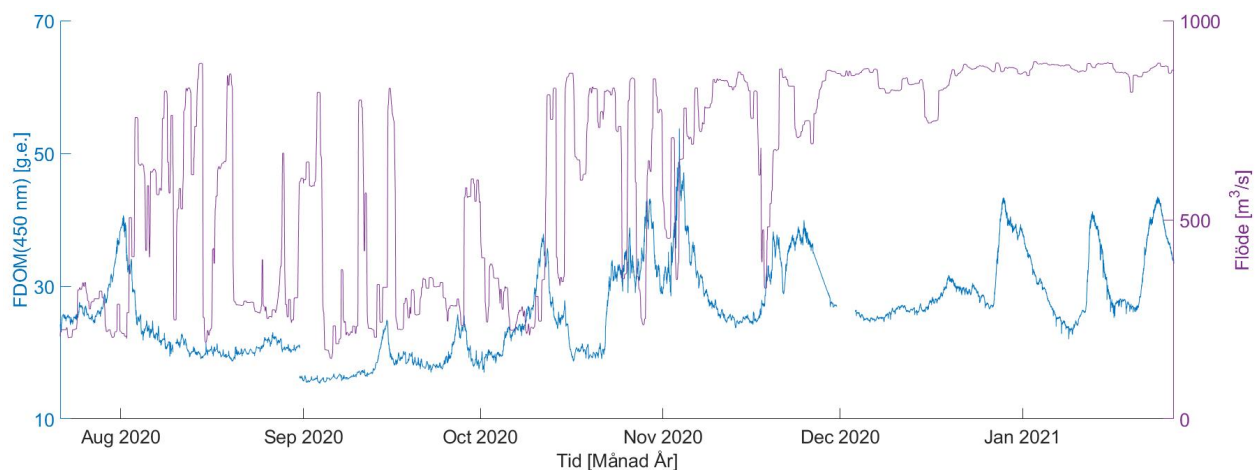
B

Flöde i Göta älv

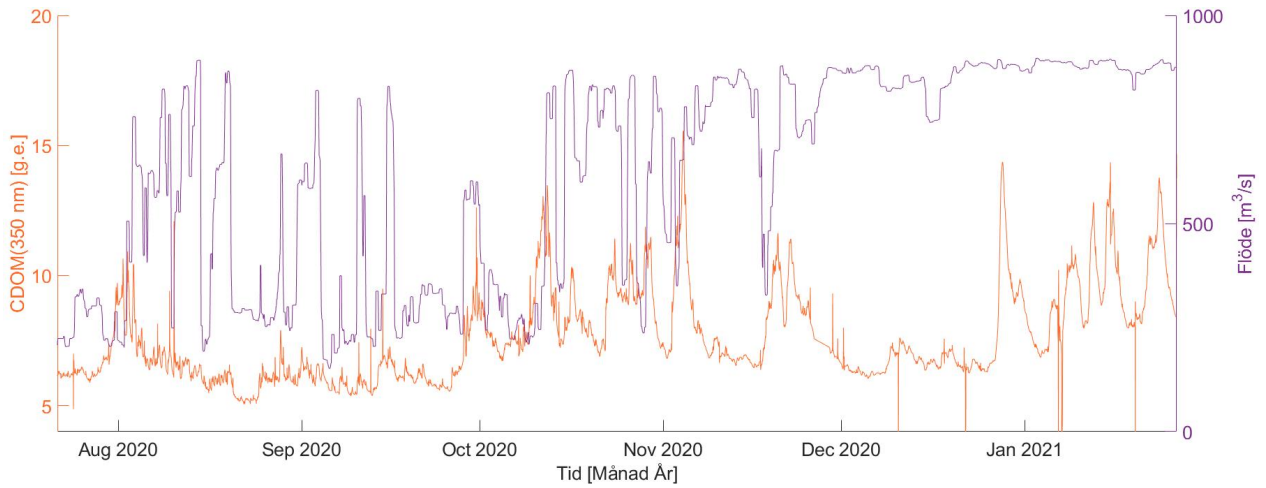
Flödet i Göta älv i förhållande till halterna FDOM (450 nm), CDOM (280 nm och 350 nm), PAH (FDOM), aQY (450 och 360), turbiditet samt nederbörd kan ses i Figur B.1-B.9. Inga uppenbara korrelationer kunde noteras.



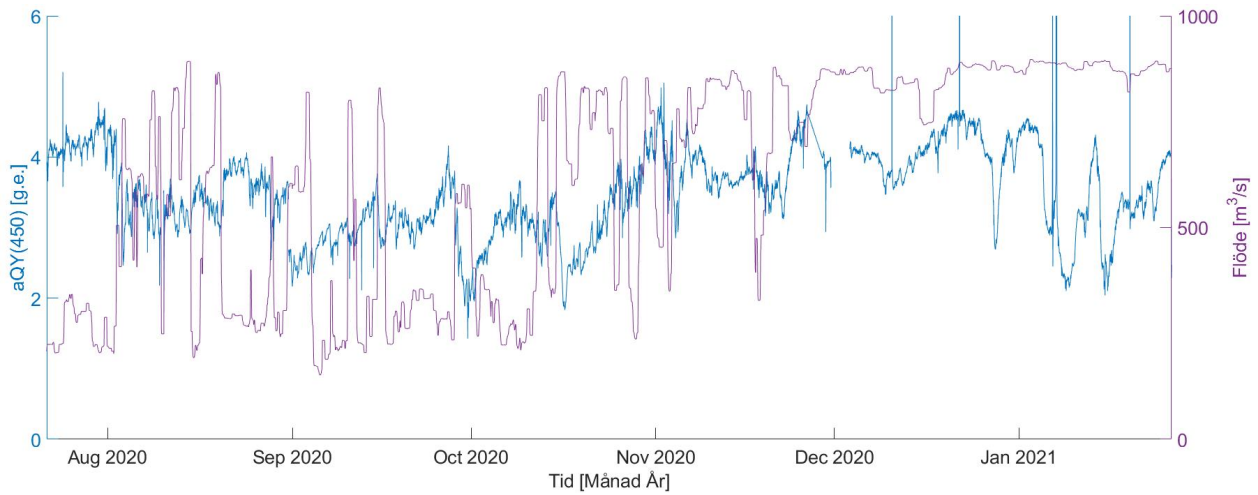
Figur B.1: Flödet i Göta älv för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.



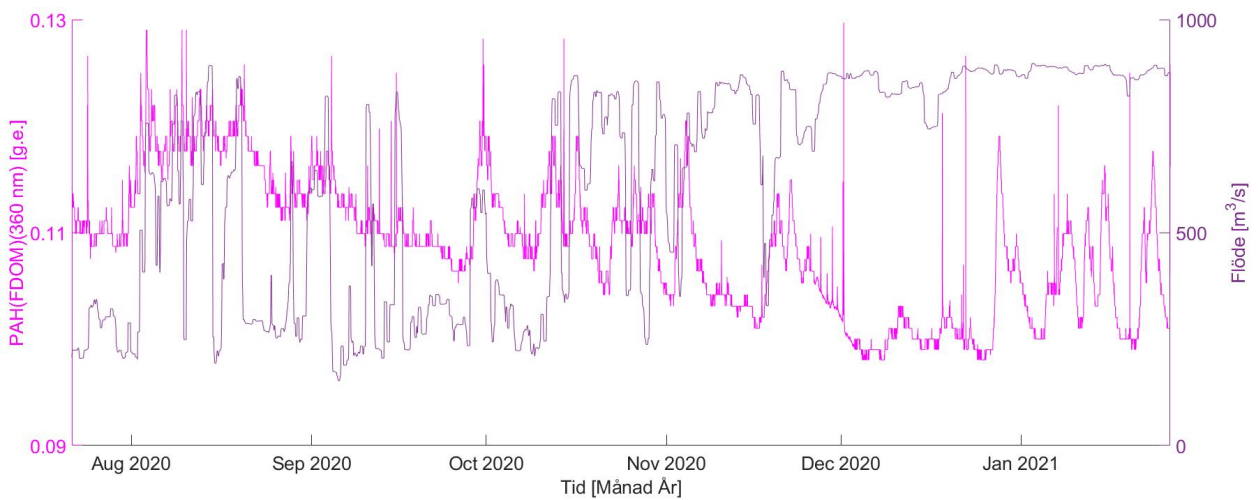
Figur B.2: FDOM (450 nm) och flöde för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.



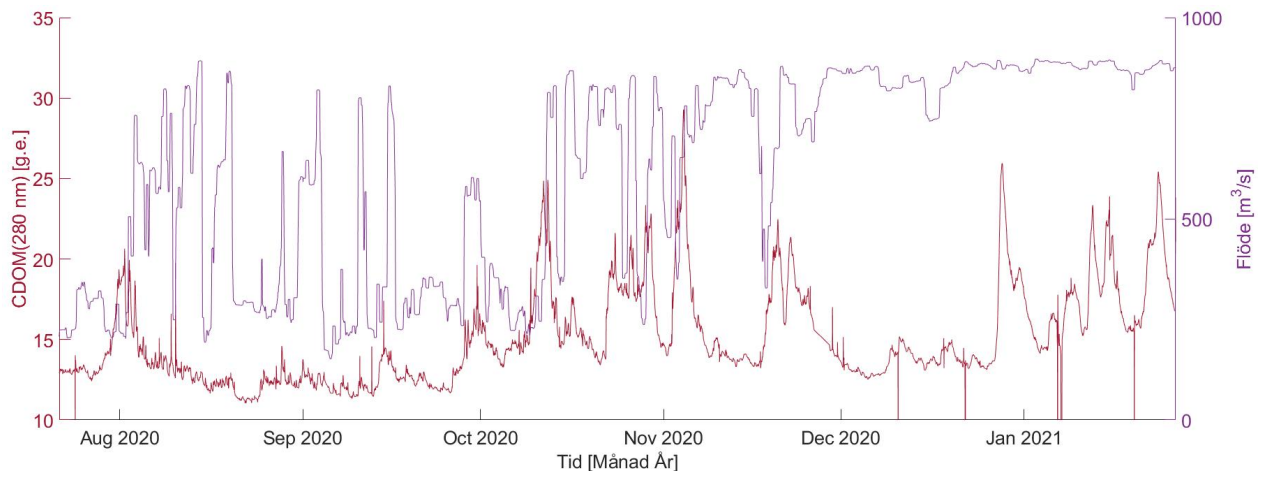
Figur B.3: CDOM (350 nm) och flöde för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.



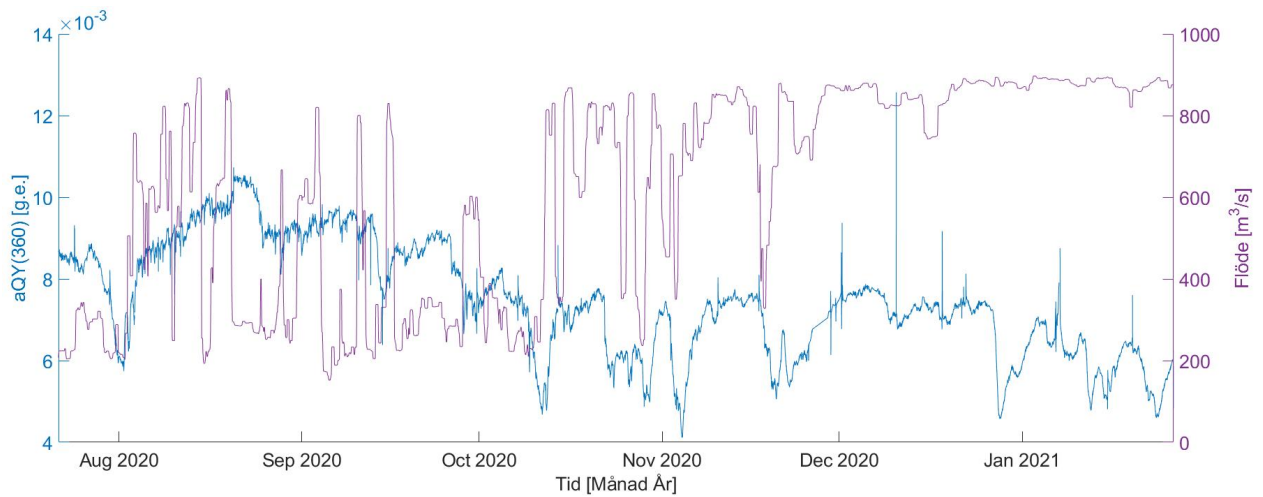
Figur B.4: aQY (450) och flöde för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.



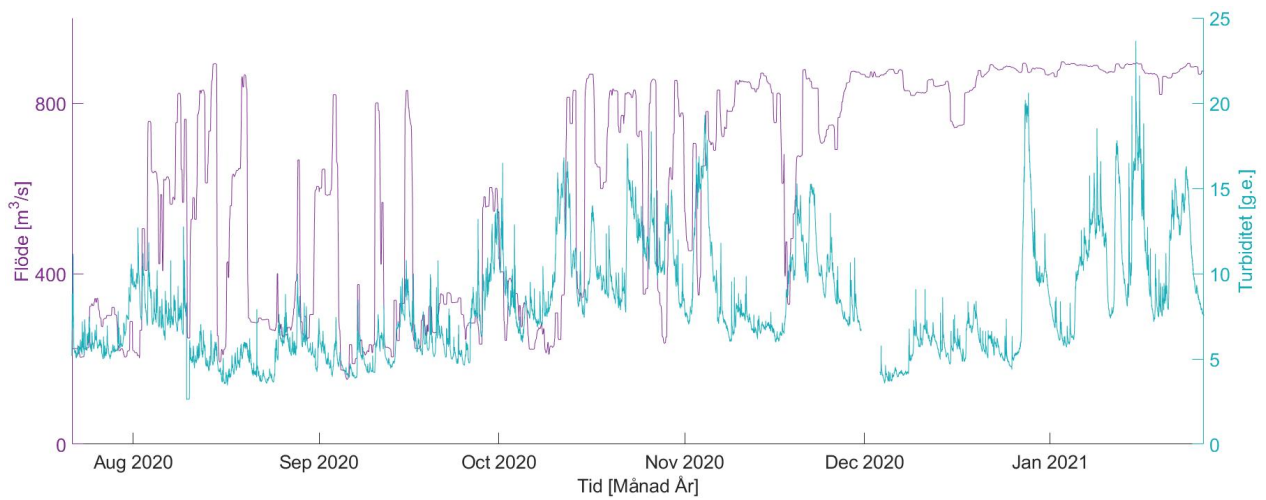
Figur B.5: PAH (FDOM) och flöde för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.



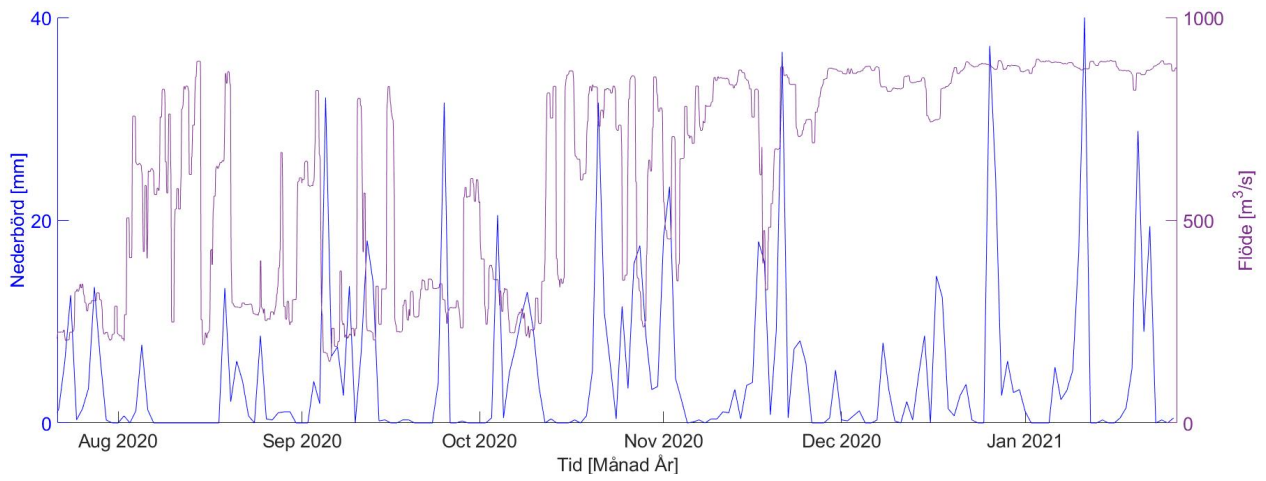
Figur B.6: CDOM (280 nm) och flöde för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.



Figur B.7: aQY (360) och flöde för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.



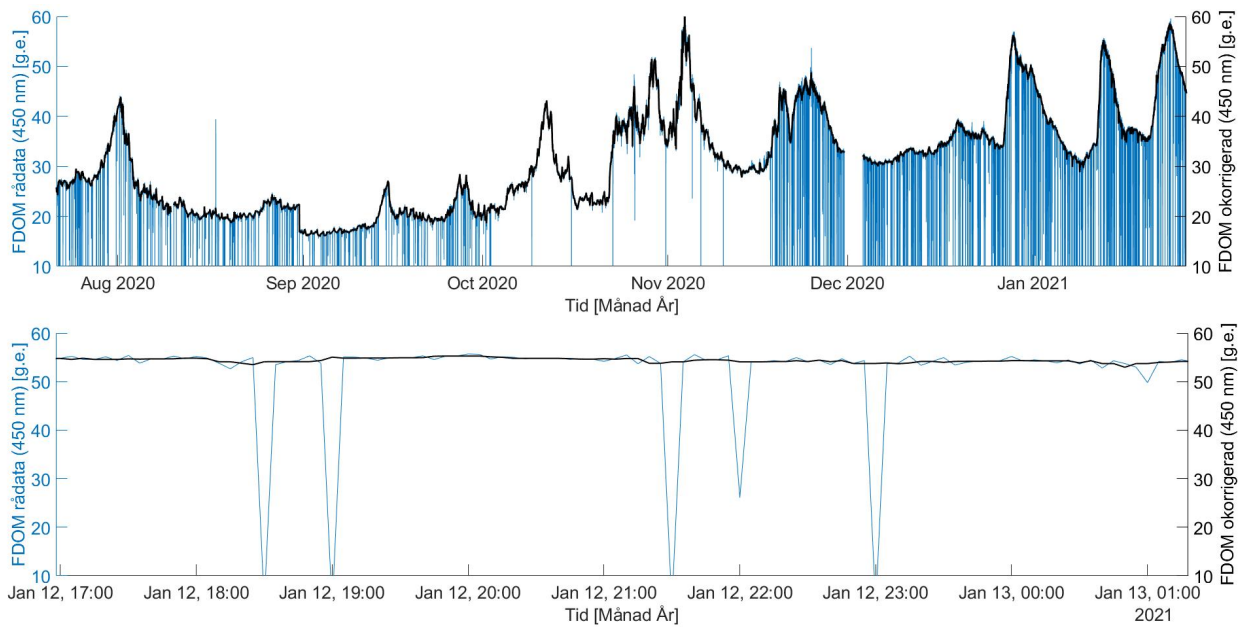
Figur B.8: Flöde och turbiditet för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.



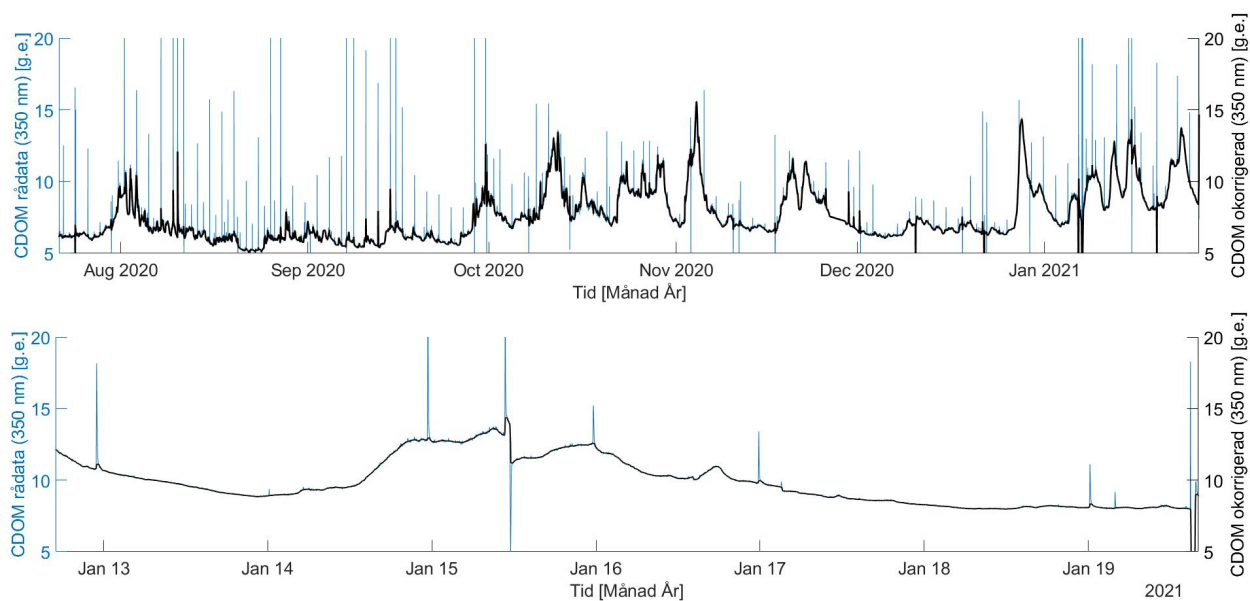
Figur B.9: Nederbörd och flöde för tidsperioden juli 2020 till januari 2021.

C

Rådata och behandlad data



Figur C.1: Rådata för FDOM (450 nm) och okorrigerad FDOM (450 nm) där endast kommandot smoothdata har använts. Den undre grafen är samma som den övre, men inzoomad.



Figur C.2: Rådata för CDOM (350 nm) och okorrigerad CDOM (350 nm) där endast kommandot smoothdata har använts. Den undre grafen är samma som den övre, men inzoomad.

D

MATLAB-kod

Urklipp av intressanta delar från det fullständiga MATLAB-skriptet finns i Figur D.1 - D.3.

Figur D.1: Exempel på hur directory kan användas.

```
1 directory = "C:\Users\..\\";
2
3 CDOM_1 = directory + "CDOMdata1.csv";
4 CDOM_2 = directory + "CDOMdata2.csv";
5 ...
```

Figur D.2: Kommandot smoothdata applicerat för vissa mätdata.

```
1 FP360Tempsmooth = smoothdata(FP360Temp, 'movmedian', 10);
   % Vattentemperatur från FP360-sensor
2 CDOM350smooth = smoothdata(CDOM350(1:139370), 'movmedian', 20);
   % CDOM (350 nm)
3 CDOM280smooth = smoothdata(CDOM280(1:139370), 'movmedian', 20);
   % CDOM (280 nm)
4 FDOMsmooth = smoothdata(FDOM, 'movmedian', 5);
   % FDOM (450 nm)
5 FP360smooth = smoothdata(FP360_measured, 'movmedian', 20);
   % PAH(FDOM) (360 nm)
6 Turbiditysmooth = smoothdata(FDOM_turb, 'movmedian', 10);
   % Turbiditet
7 abs365smooth = smoothdata(abs365, 'movmedian', 20);
   % Abs(365 nm)
8 abs450smooth = smoothdata(abs450, 'movmedian', 20);
   % Abs(450 nm)
9 flodesmooth = smoothdata(flode, 'movmedian', 20);
   % Flodesmatningar
10 SmoothPermea1 = smoothdata(Permea1, 'movmedian', 30);
   % Ultrafilter 1
11 SmoothPermea2 = smoothdata(Permea2, 'movmedian', 30);
   % Ultrafilter 2
12 SmoothPermea3 = smoothdata(Permea3, 'movmedian', 30);
   % Ultrafilter 3
```

```
13 SmoothPermea4 = smoothdata(Permea4, 'movmedian', 30);  
    % Ultrafilter 4
```

Figur D.3: FDOM korrigerig för temperatur, turbiditet och IFE.

```
1 %Formler for temperatur- och turbiditetskorrigerig enligt  
  Hoffmeister  
2 %Temperatur  
3 rhoFDOM = 0.012 .* FDOMsmooth;  
4 r_p_FDOM = 0.7725.*exp(-0.004687.*FDOM_turb_interp)+0.3041.*exp  
  (-0.0003624.*FDOM_turb_interp);  
5  
6 FDOM_tempkorr = FDOMsmooth + ((rhoFDOM.*(FDOMtemp_interp-25))./  
  r_p_FDOM);  
7  
8 %Korrigerig for turbiditet och inner filter effects(IFE)  
9 FDOM_tempkorr_interp = interp1(numtidFDOM_interp(2:end),  
  FDOM_tempkorr(2:end), CDOMtid2);  
10 FDOM_korr = FDOM_tempkorr_interp + FDOM_tempkorr_interp./(  
  FDOM_tempkorr_interp.*10.^(0.5*(abs365_rensad/100+  
  abs450_rensad/100)));
```

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige

www.chalmers.se



CHALMERS