



## Rapport

Diarienummer                      Projektnummer  
NV Rapport 2021-04              4421

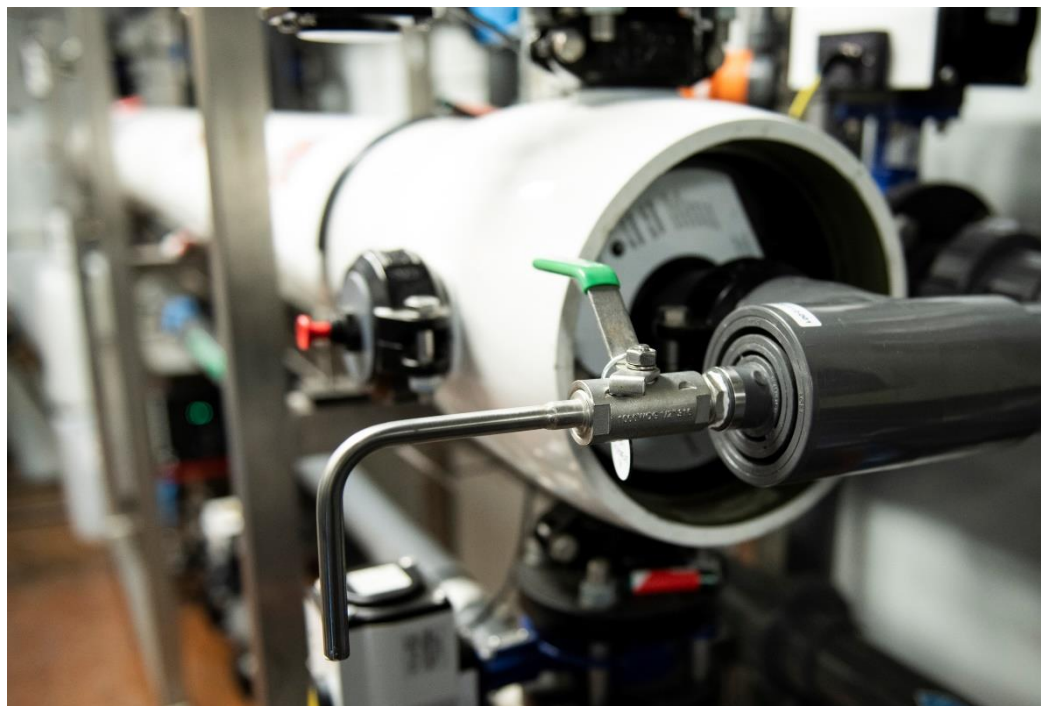
Ultramembranfiltrering med direktfällning vid Görvälverket

---

Pilotförsök för Norrvattens framtida dricksvattenproduktion

Stephan Köhler och Ida Sekizovic  
Norrvatten

2021-05-11



# Ultramembranfiltrering med direktfällning vid Görvålnverket

NORRVATTENS FRAMTIDA DRICKSVATTENPRODUKTION  
DELPROJEKT PILOT- FÖRSÖK 2D (FORTSÄTTNING 2C)

STEPHAN KÖHLER & IDA SEKIZOVIC  
2021-05-11





# Sammanfattning

Förhållanden i råvattnet vid Görvålverket är sådana att en tredje mikrobiell **barriär** bör sättas in i beredningen. En möjlig uppgradering av verket kan vara att implementera ultrafilter i dricksvattenberedningen. Ultrafilter (UF) är en effektiv mikrobiologisk barriär. Med detta i åtanke har en containerpilot för behandling av vatten hyrts in från VIVAB för att kunna studera olika placeringar samt driftstrategier av UF i processen. Denna rapport är den sista rapporten som rör UF. Tidigare år studerades filtration i kombination med jon-byte och behandling av vatten efter sandfilterprocessen med UF. I denna rapport redovisas resultat från försök med behandling av råvatten med direktfällning, behandling av fällt vatten samt ytterligare försök med sandfiltrat. Övergripande resultat antyder att alla tre placeringar (**direktfällning av råvatten (I)**, **processvatten efter fällning (II)**, **processvatten efter sandfilter (III)**) kan vara bra alternativ för användning av UF på Görvålverket. Placering (I) och (II) har fungerat stabilt. Dessa placeringar skulle dock inte tillföra ytterligare en barriär enligt MBA. Direktfällning (I) med tillsats av syra gav stabila förhållanden, medför en lägre konsumtion av kemikalier och kan ge bättre dricksvatten både med avseende på UV absorptions och mikrobiologisk kvalitet i färdigt vatten. Försök med en mindre pilot antyder att det möjligen kan finnas utmaningar att behandla råvatten med ovanligt höga halter av TOC ( $15 \text{ mg L}^{-1}$ ). Av den korta perioden där fällt vatten (II) studerades kan det konstateras att även denna gav stabila förhållanden med en möjlighet att dosera ytterligare fällningskemikalier för att förbättra utgående vattenkvalitet. De upprepade försöken med behandling av sandfiltrat (III) gav stabila resultat efter tillsats av aluminium. Utan tillsats av koagulant observerades långsamt ökande tryckförhållanden över membranet som krävde korta CEB intervall. Membranprestandan var generellt bättre och stabilare när Al doserades innan membranpassage. Genom en variation av Al dosen kan vattenkvaliteten i alla tre placeringar lätt anpassas efter behov. För alla tre placeringar kunde försöksförhållanden hittas där permeabiliteten vid en flux av minst  $65\text{-}75 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  var mellan  $420\text{-}560 \text{ l m}^{-2} \text{ bar}^{-1}$  och där TMP låg som högst på 0,25 bar. Även vid högre flux av  $85 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  gav placering II och III fortfarande gynnsamma förhållanden med nästan lika hög permeabilitet ( $> 400$ ) vid acceptabel TMP ( $< 0,3$  bar). Vid direkt jämförelse ger placering II lite bättre prestanda. Förbrukningen av fällningskemikalie i alla tre placeringar ligger högre ( $3,8\text{-}5,8 \text{ mg L}^{-1}$ ) än i andra verk ( $1\text{-}2 \text{ mg L}^{-1}$ ) där samma typ av process och fällningskemikalie används (Keucken et al 2017). PAX-60XL lämpar sig sämre än ALG för fällning av råvatten från Görvålbassängen. Det är rimligt att anta att förhållandena för pH, syra tillsats och Al dos kan optimeras vid behov. Möjligheterna för optimering av pH och dosering av fällningskemikalie var mycket begränsade då det inbyggda optiska sensorsystemet inte fungerade tillfredsställande.

Det ska understrykas att **råvattenförhållandena var ovanligt gynnsamma** under hela försöksperioden om man bortser från en kort period med ovanligt höga halter av alger under våren 2020. Under projektets gång har det uppstått en del andra praktiska utmaningar med utrustningen som har lett till att den ursprungliga försöksuppsättningen inte kunde genomföras helt enligt plan. Bland annat fick försök med fällt vatten prioriteras ned samt drift med kortare CEB intervall prioriteras bort.

## Innehåll

Ordlista.....	
1. Introduktion och bakgrund.....	1
1.2 Avgränsningar.....	2
2. Försöksupplägg och genomförande.....	2
2.1 Ultrafilterpilot.....	2
2.2 Uppföljning under försöken.....	3
2.3 Sensordata.....	5
2.4 Databearbetning.....	5
2.5 Modellering.....	5
3. Observationer av matarvatten under P1-P4.....	6
4. Beskrivning av perioder med avvikelser.....	7
5. Resultat och Diskussion.....	9
5.1 Försöksperiod P1.....	9
5.2 Försöksperiod P2.....	11
Period 2.1 Direktfällning Mälarpvatten.....	11
Period 2.2 Direktfällning Mälarpvatten, Variabel dosering.....	13
Period 2.3 Direktfällning Mälarpvatten, pH justerad och varierande Al-dosering.....	15
Period 2.4 Direktfällning med pH justering.....	17
Period 2.5 Direktfällning Mälarpvatten, intag utan korgbandsil.....	19
5.3 Försöksperiod P3.....	21
Period P3.1 Fällt vatten utan direktfällning.....	21
Period P3.2 Fällt vatten med direktfällning.....	23
5.4 Försöksperiod P4.....	25
Period 4.1 Sandfiltrat utan direktfällning.....	25
Period 4.2 Sandfiltrat med direktfällning.....	27
5.5 Sammanfattning: Driftdata.....	29
5.6 Sammanfattning: Vattenkvalitet.....	31
6. Försök i labbskala.....	41
7. Sammanfattning och förslag till uppföljning.....	44
9. Litteratur.....	47
Appendix.....	48

# Ordlista

Al <sub>löst</sub> = halt av löst aluminium efter provet har filtrerats genom ett 0.45 µm filter	[mg L <sup>-1</sup> ]
BB = Halt building block är en delmängd av DOC	[µg L <sup>-1</sup> ]
BP = Halt biopolymerer är en delmängd av DOC	[µg L <sup>-1</sup> ]
BW = Tid mellan bakspolning (Backwash)	[min]
CEB = Tid mellan bakspolning under inverkan av kemikalier (Chemical enhanced backwash)	[h]
DOC = Halt löst organiskt kol	[mg L <sup>-1</sup> ]
FC = Flödescytometri	[celler mL <sup>-1</sup> ]
FDOM = Mängd DOC som fluorescerar (bestämd via EXO sensor)	[QSU enheter]
FLUX = Vattenflöde över membranet normaliserad per yta och tid	[L m h]
Fouling = försämring av permeabiliteten i förhållande till en referens permeabilitet pga fastläggning/fällning av ämnen.	[%]
HS = Halt huminsubstanser är en delmängd av DOC	[µg L <sup>-1</sup> ]
Irreversibel fouling = skillnaden mellan fouling och reversibel fouling	[%]
LC_OCD = Vätskekromatografiskt analys för bestämning av olika DOC fraktioner	
PERM = Permeabilitet som är ett mått på motstånd av membranet vid ett bestämt vattenflöde och tryck	[L m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> bar <sup>-1</sup> ]
dPERM = förändring av permeabilitet över ett dygn under annars samma försöksförhållanden.	[L m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> bar <sup>-1</sup> ]/24h
PAX-XL60 = fällningskemikalie, polyaluminiumklorid	
Q = Råvattenflöde	[m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ]
QSU = Flouescens som motsvarar det i ämnet quinoline sulfate unit	[m L <sup>-1</sup> ]
Reversibel fouling = den andel av fouling som kan tas bort genom BW eller CEB	[%]
TMP = Tryckskillnad över membranet	[bar]
TOC = Total halt organiskt kol som även inkluderar partikulär organiskt kol	[mg L <sup>-1</sup> ]
TURB = Turbiditet som är ett mått på antal partiklar i vatten	[FNU]
UF = Ultrafilter membran	
UF1 = UF steg 1	
UF2 = UF steg 2	
UV <sub>lab</sub> = Absorbans vid 254 nm filtrerat prov (ultraviolett)	[m <sup>-1</sup> ]
UV <sub>iscan</sub> = Absorbans vid 254 nm ofiltrerat prov (ultraviolett)	[m <sup>-1</sup> ]
VLP = Viruslika partiklar	[antal]

# 1. Introduktion och bakgrund

I denna rapport redovisas sista fasen av pilotförsöken ultramembranfiltrering (UF) som är ett delprojekt i utredningen för Norrvattens framtida vattenproduktion. Resultat i denna rapport baseras på en 9 månaders lång pilotstudie av ultramembranfiltrering med och utan direktfällning för matarvattnet; råvatten, vatten från reningsprocessen efter sedimentering (fällt vatten) samt efter sandfiltrering (sandfiltrat). Studien utvärderar fördelar med placering av ultrafiltermembran i processen med avseende på mikrobiologisk barriärverkan, mängden tillsatt fällningskemikalie och reduktion av ett flertal kemiska parametrar. Bakgrund och tidigare försök med ultramembranfiltrering på Görvålverket finns i rapporten "Försök med Ultramembranfiltrering vid Görvålverket" (Dahlberg 2019).

Syftet med pilotstudien är att utreda hur och om ultrafilter kan användas som ett processteg i beredning av råvatten från Görvål så att lika bra eller bättre färdig dricksvattenkvalitet än idag kan uppnås. Ytterligare delmål är att undersöka membranprestanda, kemisk- och mikrobiologisk barriärverkan med råvatten från Görvål – och Görvålverkets processvatten som matarvatten samt att belysa möjliga begränsningar.

Som referensparametrar till försöket användes vattenverkets vattenkvalitet vid varje processteg som undersöktes under respektive försöksperiod; ingående råvattenkvalitet, vattenkvalitet efter sedimentering (konventionell fällning, fällt vatten), sandfiltrering (sandfiltrat) samt utgående dricksvattenkvalitet. För kvalitetsparametrar och kvalitetsmål för vatten efter ultrafiltrering se tabell 2.1.

Tabell 1.1: Beräknat medelvärde för ingående råvattenkvalitet och processvatten. Längst ner i tabellen visas målparametrar för permeat efter ultrafiltrering. ("-" indikerar att det inte finns mätvärden).

	FC [cell mL <sup>-1</sup> ]	Turbiditet [FNU]	DOC [mg L <sup>-1</sup> ]	UV [m <sup>-1</sup> ]	Al <sub>i</sub> öst [mg L <sup>-1</sup> ]	VLP [counts]
Råvatten	3,3*10 <sup>6</sup>	2-5	7-9	15-25	-	-
Fällt vatten	1,1*10 <sup>6</sup>	1-2	-	-	-	-
Sandfiltrat	0,9*10 <sup>6</sup>	< 0,1	3,5-4,5	8-10	0,1	-
Dricksvatten	0,9*10 <sup>6</sup>	< 0,1	3,5-4,5	8-10	0,1	-
Permeat	< 100 #1				< 0,1 #2	< 100 #3

#1 Parameter som säkerställer 4 log barriärverkan.

#2 DV gränsvärde för aluminium.

#3 Värde som garanterar att UF membranet är intakt.

Mål:

- Utvärdera koagulant dosering vid olika flöden (flux)
- Optimera pH för direktfällning
- Utvärdera direktfällning
- Utvärdera mikrobiologisk barriärverkan med hjälp av totalantalet bakterier (flödescytometri) och virus-lika-partiklar (VLP) för att verifiera att membranerna ger den avskiljning som utlovas.
- Analysera fördelen med att implementera ultrafiltermembran före och efter sandfilter.



## 1.2 Avgränsningar

På grund av många önskade försöksupplägg är respektive pilotförsök tidsbegränsat. Tidsaspekten begränsar möjligheten till bedömning av prestanda för varje försök eftersom vattenkvaliteten varierar under året och har stor påverkan på resultatutvärderingen.

Avgränsningar med pilotanläggningen som framgått under föregående studie har kvarstått samt problem med I::Scan mätare och pH elektroder och därmed har kontinuerlig on-line mätning under vissa perioder ersatts med utökade labbanalyser.

## 2. Försöksupplägg och genomförande

Försöksupplägget är uppdelat i fyra perioder P1-P4 där ett större antal kombinationer av driftförhållanden studerades, sammanställt i tabell 2.1. Parametrar från on-linemätning och labanalyser finns beskrivet i avsnitt 2.2.

*Tabell 2.1 Pilotförsöksuppdelning i fyra perioder som analyseras separat i rapporten.*

Period	Matarvatten	Driftförhållanden
P1	Sandfiltrat	Inga inställningsändringar under längre vinterperiod; 80 l/mh flux utan direktfällning.
P2	Mälarvatten	Med och utan direktfällning, variabel dosering, pH justering med svavelsyra. Algblomningspåverkan och test utan korgbandsil.
P3	Fälltvatten	Med och utan direktfällning.
P4	Sandfiltrat	Med och utan direktfällning.

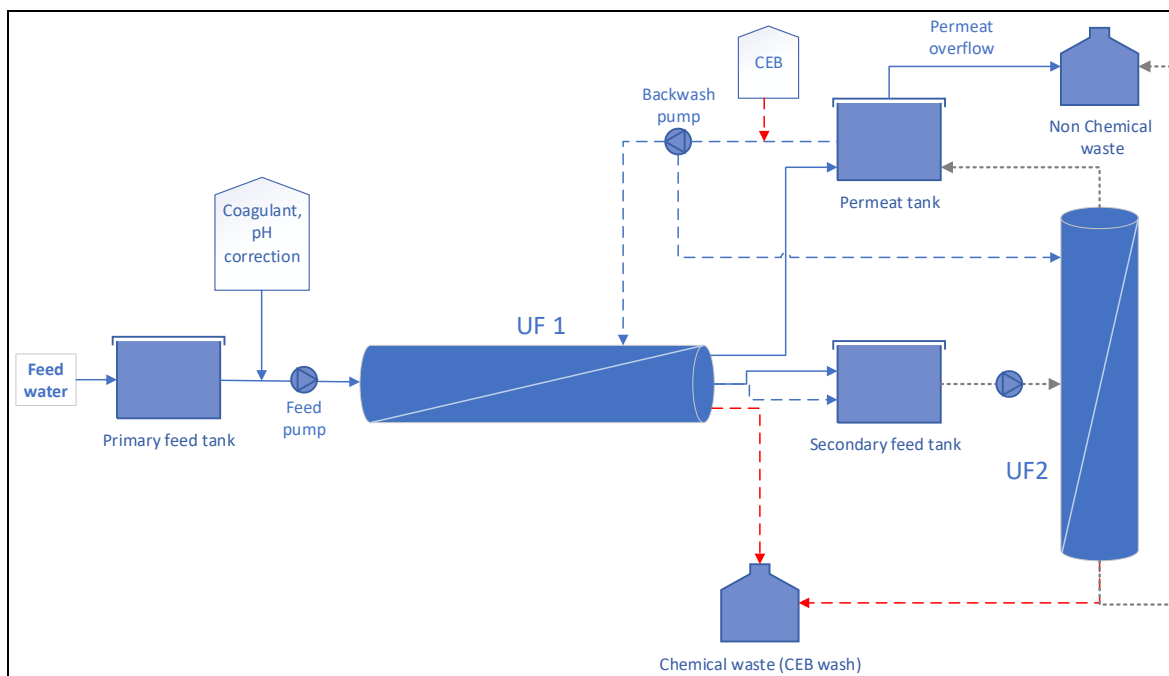
### 2.1 Ultrafilterpilot

Membranmodulerna i pilotanläggningen på Görvålverket innehåller två membran från Pentair som består av fiber med porstorlek 20 nm. Matarvattnet samlas i den primära vattentanken, innan matarvattnet pumpas vidare till det primära membranet (UF1) tillsätts koagulant och eventuellt korrigeras pH med svavelsyra. Tillsats av koagulant inducerar flockbildning och därmed bildas det ett skyddande lager av flock på membranets utsida. Detta skyddande lager förhindrar att mindre flockar kan tränga in djupt in i membranet och minskar därmed effekten av membranfouling. I tidigare pilotförsök framkom det att filtrering utan doseringsmedel leder till ökande TMP över tid.

Det primära membranet matas med inkommande matarvatten horisontellt med "dead end" filtrering, se figur 3.1. Enligt tillverkaren är den garanterade avskiljningsgraden av bakterier 6 log<sub>10</sub>. Permeatet, det renade vattnet, samlas i en permeattank som även fungerar som backspolningstank. Retentat från det primära filtreringssteget samlas upp i en sekundär tank och används som matarvatten till det sekundära filtreringssteget vilket ökar utbytet över anläggningen och minskar avloppsvolymererna.

Det sekundära filtreringssteget sätts i gång när den sekundära tanken har nått maxvolym. Det filtrerade vattnet från sekundära filtreringssteget (Permeat UF2) samlas i samma permeattank som permeatet från primära filtreringssteget. Vattenkvaliteten i permeattanken kan därför påverkas av processen i steg 2. Retentat från det sekundära filtreringssteget går direkt till avlopp. Pilotanläggningen är konstruerad så att det renade vattnet i permeattanken bräddar till avlopp, se figur 2.1.

Efter varje filtreringscykel startar backspolningspumpen för att backspola membranet. Det använda backspolningsvattnet från det primära filtreringssteget samlas upp i den sekundära tanken för att filtreras i det sekundära filtreringssteget. Medan backspolningsvattnet från det sekundära filtreringssteget går direkt till avlopp. För att skydda membranerna utförs en kemisk tvätt (Chemical enhanced backwash, CEB) där en alkalisk natriumhypoklorit tillsätts i backspolningsvattnet. Därefter tvättas membranet med svavelsyra. Det använda backspolningsvattnet går till en separat avloppstank för att behandlas med aktivt kol innan det går vidare till avlopp. CEB i första steget inleds automatiskt när TMP över UF1 överstiger 0.6 bar.



Figur 2.1 Flödesschema över ultrafilterprocessen i pilotanläggningen. Primära filtreringssteget (blå linje), sekundära filtreringssteget (prickad linje), backspolning (streckad blå linje), Kemisk tvätt CEB (röd streckad linje).

## 2.2 Uppföljning under försöken

Driftparametrar som analyserats under försöken från anläggningens on-line mätning och pilotens on-line instrument är sammanställda i tabell 2.2 och 2.3. Kemiska och mikrobiologiska parametrar som analyserats vid provtagning och online mätning för karakterisering av vattenkvalitet redovisas i tabell 2.4 och 2.5.

Tabell 2.2: Urval av de viktigaste kemiska parametrar för drift av Görvälnverket

Beskrivning	pH	Koagulantdos	Hypoklorit
Enhet	-	[mg L <sup>-1</sup> ]	[mg L <sup>-1</sup> ]
Intervall	6-7,5	0-12	100-300

Tabell 2.3: Urval av de viktigaste parametrar för UF1

Beskrivning	Q	TMP	FLUX	BW	PERM	CEB	DPERM
Enhet	[m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ]	[bar]	[lmh]	[min]	[L m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> bar <sup>-1</sup> ]	[h]	[L m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> bar <sup>-1</sup> ]/24h
	2,3-5,6	0,1-0,6 <sup>#1</sup>	45-90	30-60	150-550	24-48	29-177

<sup>#1</sup> efter att TMP av 0.6 bar har uppnåtts inleds automatiskt en BW för att skydda membranet.

Tabell 2.4: Kemiska huvudparameter som ingick i karakterisering av vattenkvalitén i matarvatten och permeat.

	pH	Turbiditet	Alkalinitet	UV	DOC	TOC	Anjoner	Metaller
Enhet	-	[FNU]	[mg L <sup>-1</sup> ]	[m <sup>-1</sup> ]	[mg L <sup>-1</sup> ]	[mg L <sup>-1</sup> ]	[mg L <sup>-1</sup> ]	[mg L <sup>-1</sup> ]
Syfte	Effekt på doseringen	membran integritet	Verifiering av Al-doseringen	prestanda		Verifiering av Al-doseringen	Rest-Al	

Tabell 2.5 Lista över extraparameter som ingick i karakterisering av vattenkvalitén i matarvatten och permeat.

Beteckning	Färg	COD	VLP	LC_OCD	FC
Enhet	[mg L <sup>-1</sup> ]	[mg L <sup>-1</sup> ]	antal	[µg L <sup>-1</sup> ]	antal celler
Syfte	Prestanda				

## 2.3 Sensordata

Under stora delar av perioden fungerade inte de optiska sönerna i piloten som mäter matarvattnet och permeatet. Under längre perioder visade även pH elektroderna systematiskt fel och därmed oanvändbara värden. Under våren åtgärdades felet med pH elektroderna. Åtgärder för de optiska sönerna gav dock inga tillfredställande resultat vilket resulterade i att de inte togs med i denna analys. För att ha tillgång till kontinuerliga data placerades EXO2 sond i råvatten- och permeat tanken under delar av försöksperioden. Sonden mäter bland annat pH, ledningsförmåga, turbiditet, klorofyll och flouescens. Sistnämnda parametern kan ge en mycket bra skattning av UV absorptions (Voigtländer 2020).

## 2.4 Databearbetning

Data från EXO2 sensorn laddades ner via en speciell mjukvara (EXO\_Kor) och överfördes sedan till EXCEL© och därefter till JMP©. Den mycket stora datamängden från driften av piloten laddades ner i form av ett stort antal ( $n > 100$ ) filer från Piloten via teamviewer. Eftersom Excel© inte kan hantera så stora datafiler togs det fram Python© skript som satte ihop filerna till en enda textfil. Textfilen lästes sedan in i JMP och data bearbetades därefter. All labb data lästes in i JMP. Nästan alla grafer togs fram med JMP©.

## 2.5 Modellering

Dosering av aluminiumsalter och svavelsyra påverkar vilket värde som inställer sig för både alkalinitet och pH efter fällning. Doseringpumparna kalibrerades ett par gånger under försöket. Det verkliga flödet i doseringspumpen för både svavelsyra ( $H_2SO_4$ ) och koagulanten (PAX-XL60) kan variera över tid. För att kunna verifiera den faktiskt tillsatta dosen genomfördes ett antal beräkningar och modelleringar. Aluminiumdosen av PAX-XL60 beräknades indirekt genom att följa förändringar av klorid över tid. Vid tillsats av PAX-XL60 förändras kloridhalten. Genom att mäta klorid i matarvattnet och i permeatet kan man ta fram en teoretiskt halt av tillsatt koagulant om kloridhalten i PAX-XL60 är känd. Efter ett antal modelleringar med olika inställningar förkom det att följande formel gav bäst överensstämmelse med verkligheten:  $Al(OH)_{1,22}Cl_{1,76}$ . Det numeriska värdet för basiciteten är således 46% [ $1,22/(1,22+1,76) = 0,46$ ]. Den beräknade densiteten ligger på 1,30 som kan jämföras med produktens faktablad 1,31 g L<sup>-1</sup>. Basiciteten enligt faktabladet är 40 %.

Svavelsyratillsats kontrollerades genom att jämföra sulfathalt i matarvatten och i permeat. Tillsats av Al koagulant leder till en utfällning av aluminumhydroxid enligt nedan:



Förändringen av alkalinitet och pH kan modelleras med mjukvaran PHREEQC© om de kemiska parametrarna av utgångsvatten med avseende på alkalinitet och temperatur är kända. Baserat på labb data och ett PHREEQC skript modellerades det fram vilka förändringar i pH och alkalinitet

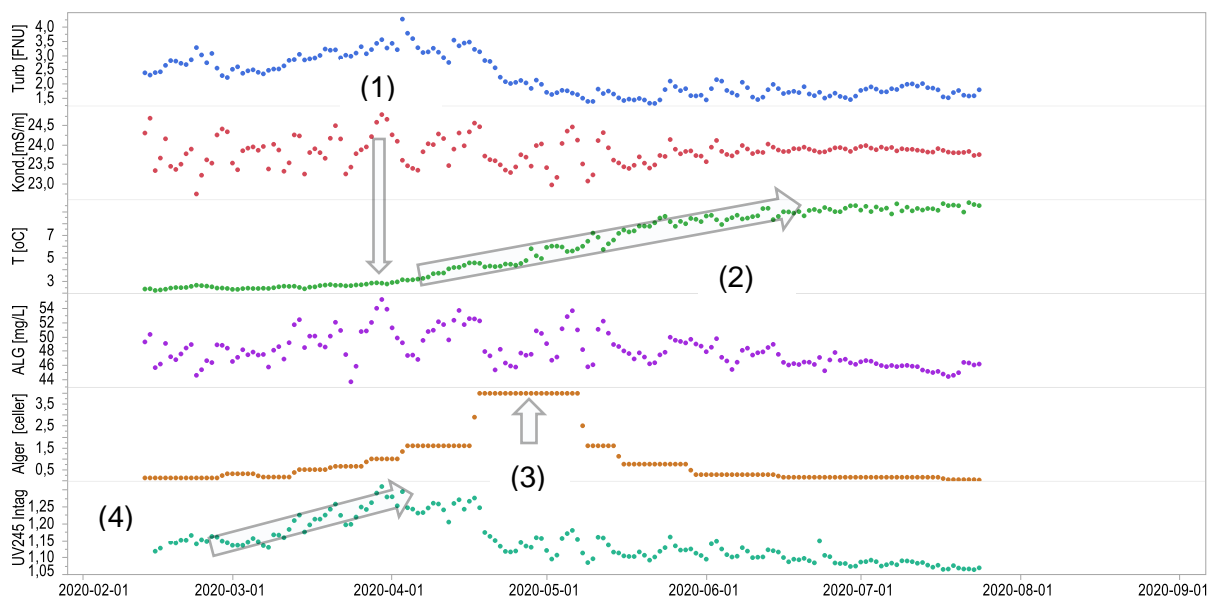
som skulle uppstå vid olika tillsatser av PAX-XL60 till råvattnet. Resultat av modelleringar finns i appendix. För omräkning mellan Al och ALG användes en molekylvikt av 594 för ALG  $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 \cdot H_2O]$ .

### 3. Observationer av matarvatten under P1-P4

Under försöksperioden P1-P4 studerades främst basparametrar; TMP, PERM, dUV, dVLP, dDOC,  $Al_{löst}$ , effekt av temperatur och turbiditet i råvatten både med avseende på variation, median-, minimal- och maximalvärden.

#### Beskrivning av råvattenförhållanden

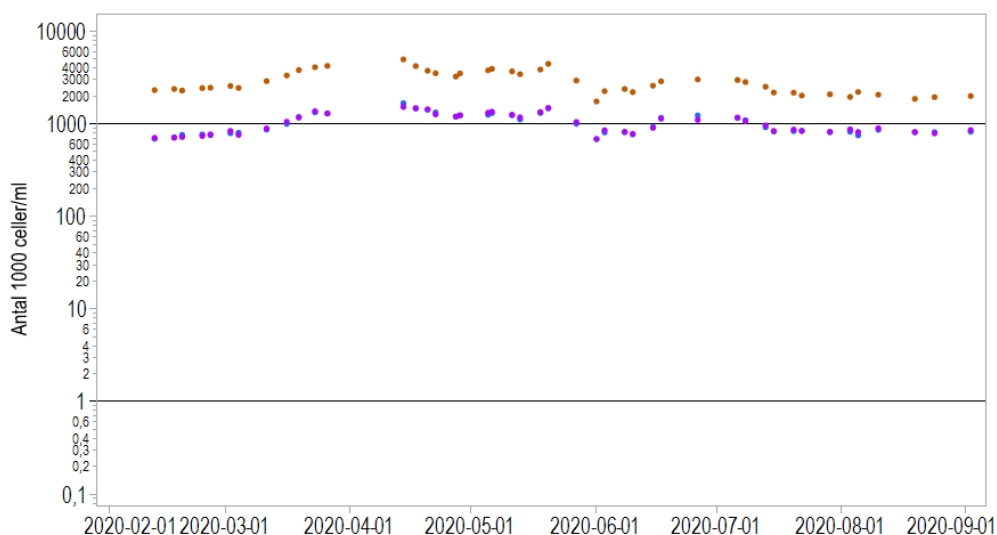
Försöket genomfördes under månaderna januari till augusti 2020. Förhållanden för ingående råvattenkvalitet under denna tidsperiod redovisas i figur 3.1.



Figur 3.1 Råvattenförhållanden under tidsperioden februari-oktober 2020, turbiditet [FNU] (blått, överst), Ledningsförmåga [ $mS m^{-1}$ ] (röd), Temperatur [ $^{\circ}C$ ] (grön), Doserad mängd ALG [ $mg L^{-1}$ ] (violett), Antal celler (gul/brun) och UV254 (grön).

I figuren ovan ska fyra förändringar pekats ut. Vid punkt (1) blir det mycket tydligt hur ALG doseringen (violett) i råvatten, som under många andra perioder under 2020, bara styrs av förändringar i konduktivitet. Dosen följer signalen för konduktivitet utan att UV-absorbans ändras. Under hela perioden varierade ALG dosen (violett kurva) inte mer än mellan 44 och 55  $mg L^{-1}$ . Pilen vid punkt (2) visar temperaturutvecklingen i början av april där vattentemperatur stiger från 2 grader i vinter till 10 grader under sensommaren. Vid punkt (3) som sker mellan mitten av april och mitten av maj pekar pilen på en ovanlig stor algblomning av kiselalger (brun/gul) kurva visar uppmätt antal celler i råvatten. UV absorbans i råvatten är ovanligt stabil (1,1-1,3) under året. I början av mars vid punkt (4) ökar UV254 från 1,1 till 1,25 och sjunker sedan igen vid algblomning.

Under vintern 2019/2020 förekom ingen isläggning i Görväln bassängen. Detta medförde att intagsdjupet aldrig ändrades under våren 2020. Råvatten togs upp från -22m under hela perioden. Under försöksperioden låg halten organiskt kol någorlunda stabilt mellan 7-8 [mg L<sup>-1</sup>], turbiditet varierade mellan 2-4 [FNU] och UV mellan 21 till 23 [m<sup>-1</sup>]. Dessa värden ligger mycket nära de typiska långtidsförhållanden i Görvälnbassängen och mycket lägre än de extrema värden som observerades våren 2013. Under senare del av mars och särskilt senare, i mitten av april, förekom ovanligt höga halter alger i råvatten (upp till 20 mikrogram L<sup>-1</sup>), se figur 3.2.

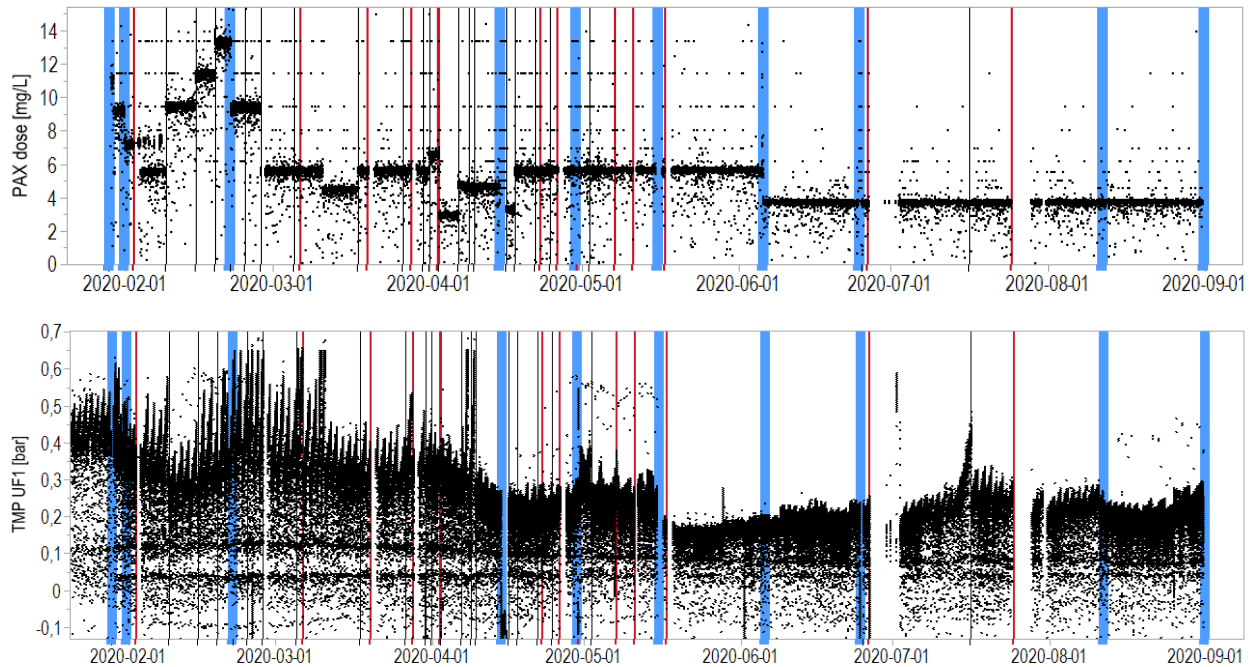


Figur 3.2 Resultat från flödescytometri (totalantal celler) för råvatten (brun/gul), efter sandfilter (violett) och i utgående vatten (violett) i ett logaritmiskt diagram. De vertikala linjerna anger en tre log reduktion.

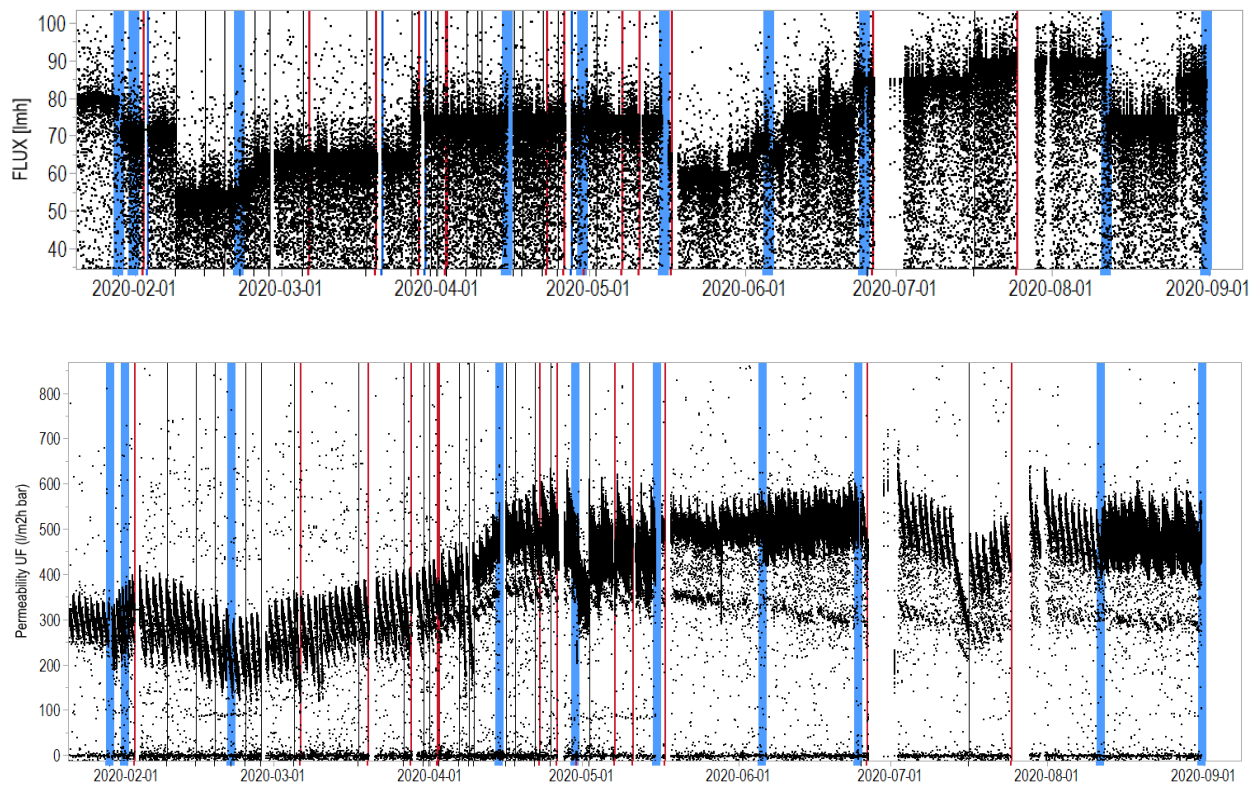
Antal celler ökar i samband med stigande UV254 under våren, se figur 3.2. Eftersom borttagning över fällningen och sandfilter bara tar mellan hälften och två-tredje delar av cellerna så är signalförloppet ganska likt för prover efter sandfilter. Det framgår också att borttagningen är mindre än en log enhet. De svarta horisontella linjerna är inritade för att enklare kunna jämföra borttagningen av antal celler över UF med nuvarande reningsprocess.

## 4. Beskrivning av perioder med avvikelser

Det har förekommit en del driftstörningar med olika sensorer, utmaningar med hypokloritdosering och bortfall av viktiga instrument. Tillgång till en pilotskötare och extra labb analyser på verket har minimerat bortfall av data. Piloten har varit avstängd under delar av försöksperioden vilket har lett till bortfall av data och delvis perioder med längre avbrott, se figur 4.1- 4.2 för en överblick. Perioder med kortare avbrott förekom vid ett par tillfällen och dessa är markerade med röda sträck nedan.



Figur 4.1: Beskriver olika kombinationer av olika inställningar av AI-dosen som genomfördes under perioderna P1-P4 samt hur TMP (diagram nedan) ändrades. Röda linjen i TMP diagrammet anger när piloten automatiskt genomför en CEB. Blåa streck tyder på ändrad inställning eller avbrott.



Figur 4.2: Redovisar hur flux och permeabilitet (nedre diagram) ändrades under perioderna P1-P4 (överst). Röda linjen i TMP diagrammet anger när piloten automatiskt genomför en CEB. Blåa streck tyder på ändrad inställning eller avbrott.

## 5. Resultat och Diskussion

Resultatet för respektive försöksperiod P1-P4 redovisas i avsnitt 5.1-5.4: Varje avsnitt har grafer för flux, TMP och permeabilitet. I avsnitt 5.5 är resultatet sammanställt i en tabell med representativa värden för varje försöksperiod.

### 5.1 Försöksperiod P1

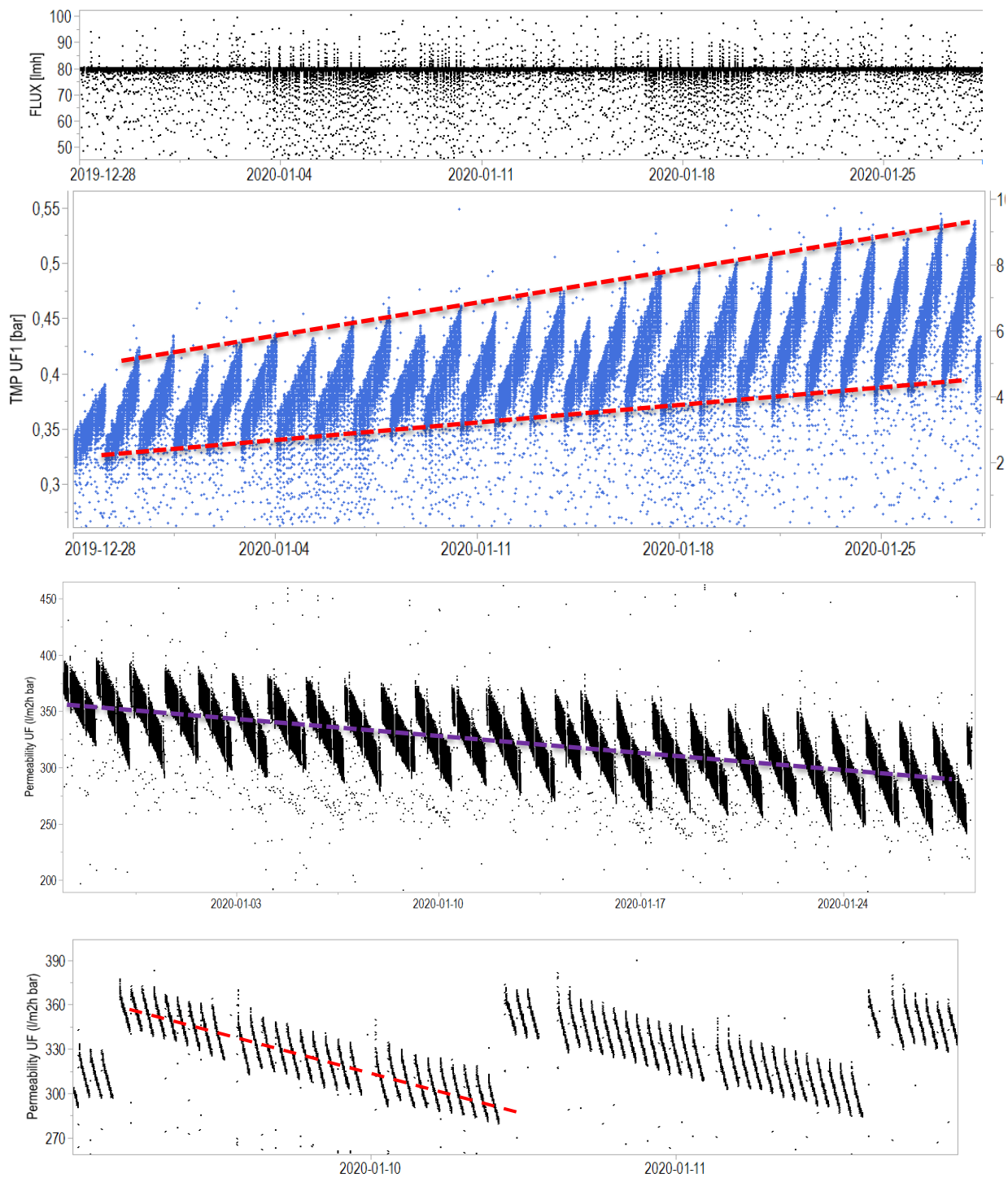
I första försöket studerades membranavskiljning med sandfiltrat som matarvatten med ett konstant flöde på  $80 \text{ lmh}^1$  och ett CEB intervall på 30 h. Temperaturen på matarvattnet var  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Under perioden gav filtration med sandfiltrat inga stabila förhållanden med avseende på TMP och PERM, se figur 5.1. Försöksperioden präglas av ett stadigt uppgående tryck över membranen. Den röda linjen i TMP diagrammet, figur 5.1, visar att efter varje backspolning startar en filtreringscykel med ett högre tryck än föregående filtreringscykel. I tidigare försök har det observerats att membranfouling kan förekomma om flockar inte är tillräckligt stora eller inte tas bort fullständigt med CEB. Filtreringspermeabiliteten mellan två CEB cykler sjunker från 360 till  $300 \text{ [L m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ bar}^{-1}]$ . Medelpermeabiliteten låg på 324 och sjönk ca 52 per dygn (16%).

---

<sup>1</sup> Det är kutym att ange flöden i enhet  $\text{lmh}$  istället för  $\text{m}^{-3} \text{ m}^{-2} \text{ h}$





Figur 5.1 Visar mängden vatten som filtreras (Flux [lmh]), tryckupbyggnaden (TMP) över UF1 membranet med enheten bar och hur membranets permeabilitet sjunker [ $L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$ ] för P1. Längst ner en förtydligande bild över membranets sjunkande permeabilitet (52 per 24h) mellan filtreringscykler och ökningen i permeabilitet efter en CEB (kemisk tvätt). Ingen koagulantdosering, 30h CEB intervall.

## 5.2 Försöksperiod P2

Under denna period studerades direktfällning på membranet med Görvålverkets inkommande råvatten som matarvatten, resultatet redovisas nedan för fyra delförsök (P2.1-P2.4). Ett av delförsöken innefattar pH justering med tillsats av svavelsyra med syftet att minska mängden PAX-XL60 vid direktfällning.

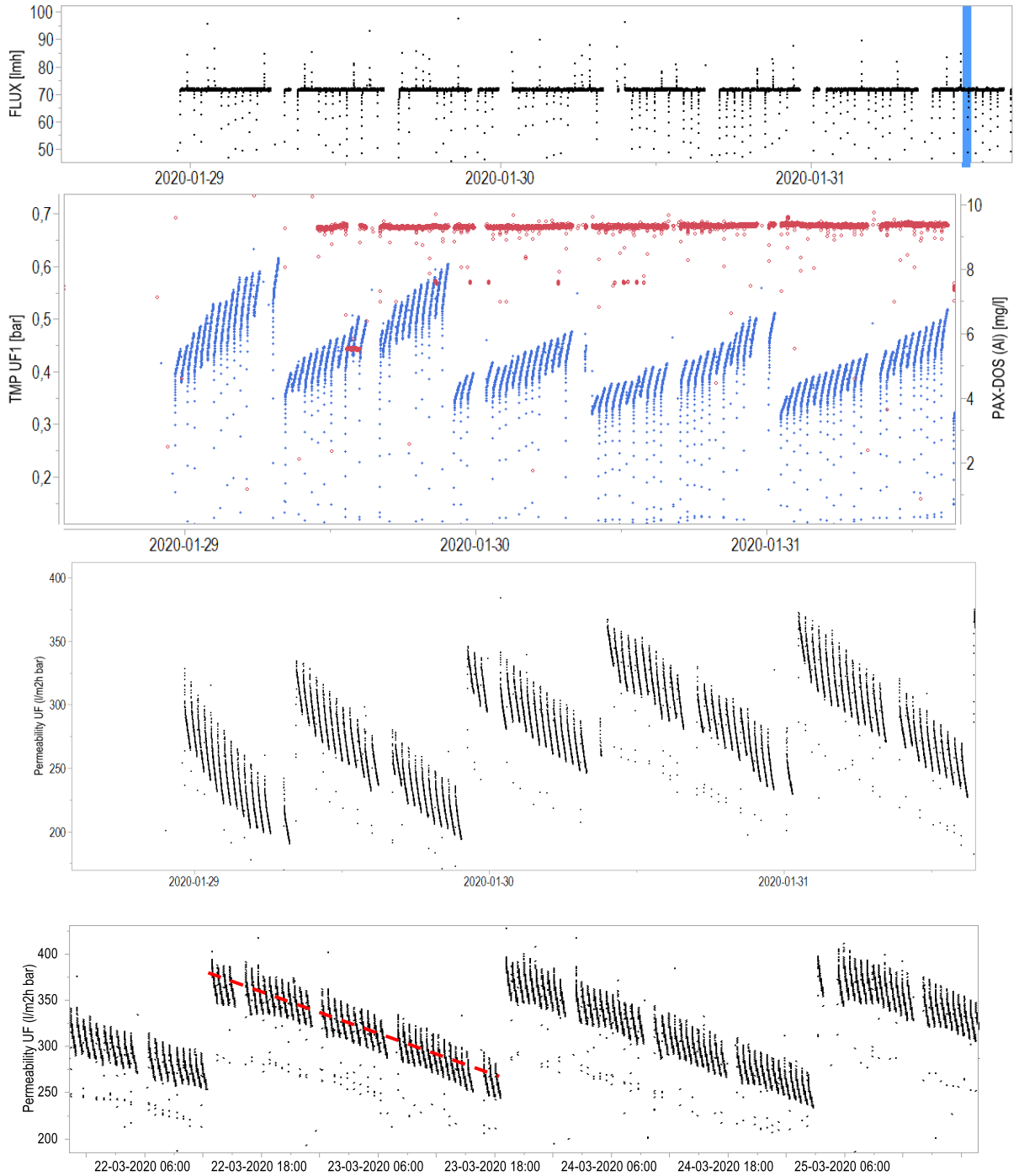
### Period 2.1 Direktfällning Mälarvatten

Ett stabilt flöde på 75 l/h med 1 ppm<sup>2</sup> koagulant dosering som resulterade i en aluminiumdos på 9,2 mg L<sup>-1</sup>. Temperaturen på matarvatten ökade från ca 2,5 till 6 grader.

Det finns en tydlig ökning i TMP efter varje filtreringscykel ("vertikal" blå linje), se figur 5.2. TMP ökar från ungefär 0,30 - 0,60 bar innan en CEB (kemisk tvätt) startar. Permeabiliteten [ $l\ m^{-2}\ bar^{-1}$ ] som uppnåddes var i median 260 och sjönk med 177 per dygn. Efter en CEB sjunker trycket över membranet tillbaka till 0,30 bar. För råvatten som matarvatten med en aluminiumdos på 9.2 mg L<sup>-1</sup> och ett flöde på 75 l/h kan slutsatsen dras att det krävs CEB med kort intervall för att undvika för hög belastning som skadar membranet. För att TMP inte ska överstiga den kritiska gränsen på 0,6 bar är maxintervall för CEB 30h under dessa förhållanden.

---

<sup>2</sup> 1 ppm enligt pilotens SCADA system.

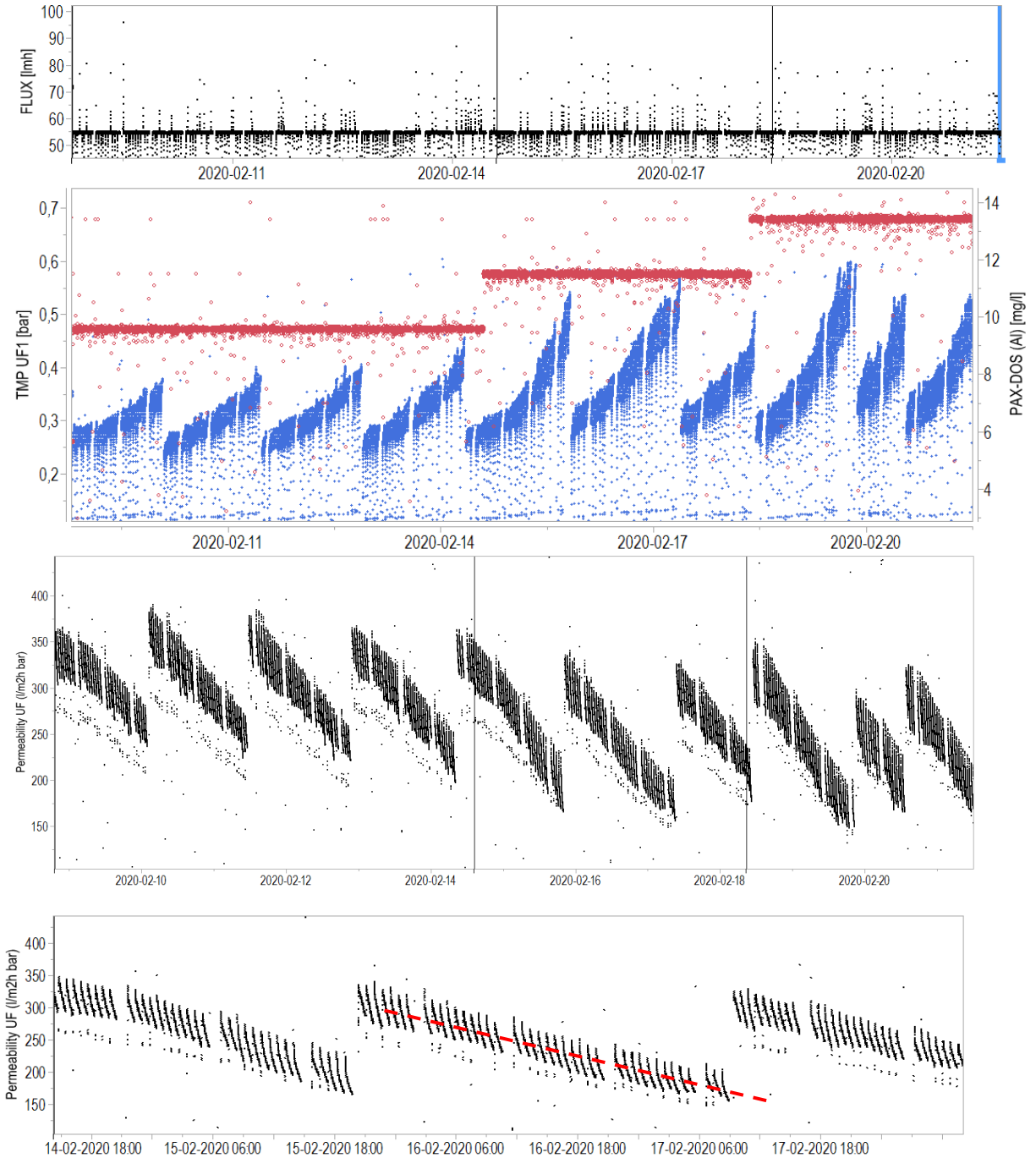


Figur 5.2 Visar mängden vatten som filtreras (FLUX [lmh]), tryckupbyggnaden (TMP) över membranet med enheten bar och hur membranets permeabilitet sjunker [ $L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$ ] för P2.1. Den röda linjen i TMP-diagrammet visar mängden tillsatt Aluminium [ $mg L^{-1}$ ] vid direktfällning. Längst ner en förtydligande bild över membranets sjunkande permeabilitet (176 per 24h) mellan filtreringscykler och ökningen i permeabilitet efter en CEB (kemisk tvätt).  $9,2 mg L^{-1} Al$  dosering och 30h CEB intervall.

## Period 2.2 Direkrfällning Mälarvatten, Variabel dosering

Det föregående försöket visade att en ökad koagulantdosering inte är möjlig med flux på 75 l/h utan att en resulterande tryckökning uppstår, som kan skada membranerna. Därför utfördes det här försöket med en stabil flux på 55 l/h. Direkrfällningen justerades under försöket med tillsatt aluminiumdos från 9,7 mg L<sup>-1</sup> till 11,5 mg L<sup>-1</sup> och avslutades med 13,3 mg L<sup>-1</sup>. CEB intervallet var konstant inställt på 30h. Även under denna period uppnåddes bara låga värden för permeabilitet (240) som sjönk med 93 per dygn.

Resultaten visar att en ökad aluminiumdos ger en ökning i TMP, brantare tryckuppbyggnad, se figur 5.3. Permeabiliteten sjunker inte anmärkningsvärt vid ökad aluminiumdos.

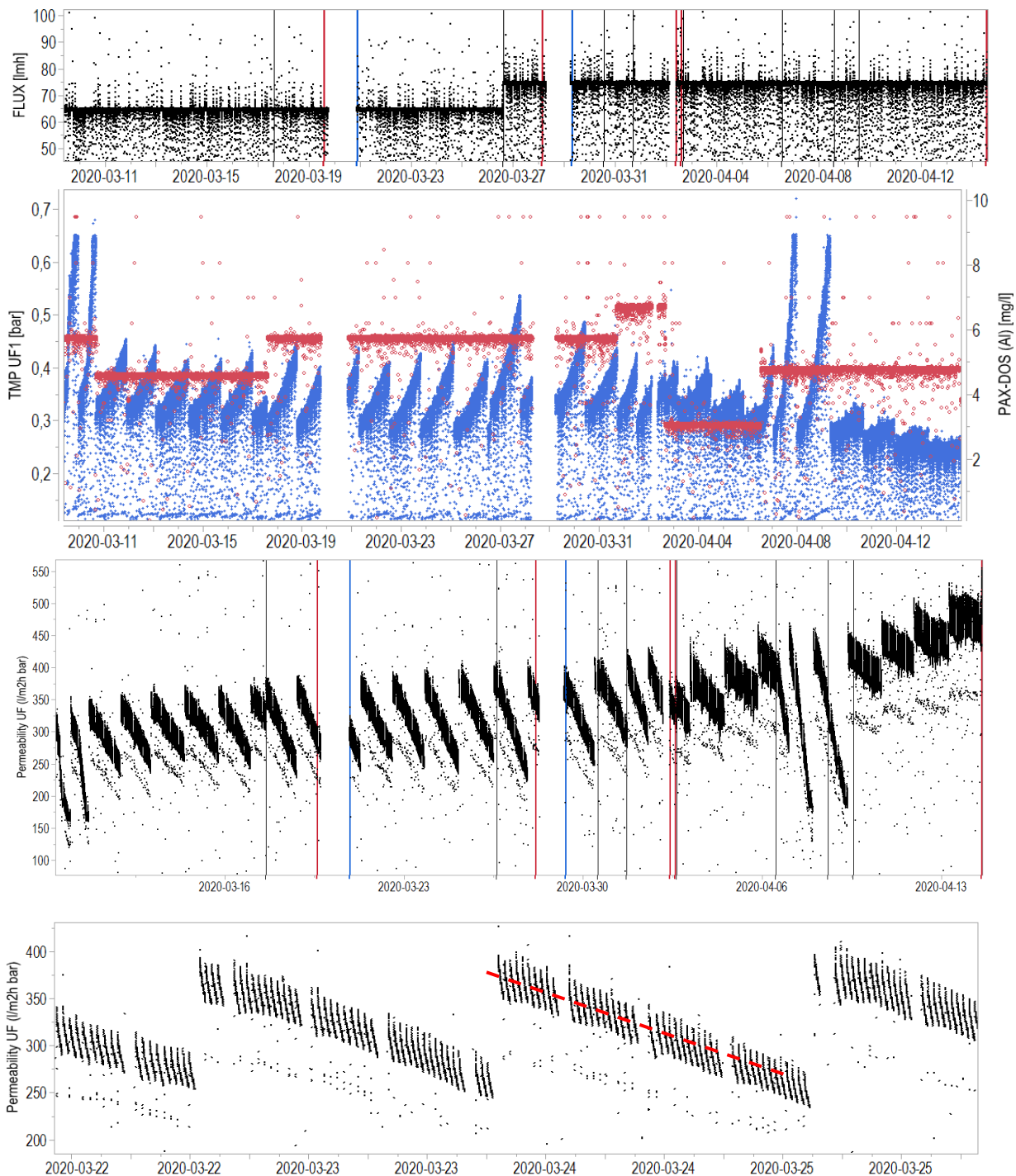


Figur 5.3 Visar mängden vatten som filtreras (FLUX [lmh]), tryckuppbyggnaden (TMP) över membranet med enheten bar och hur membranets permeabilitet sjunker [ $L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$ ] för P2.2. Den röda linjen i TMP-diagrammet visar mängden tillsatt Aluminium [ $mg L^{-1}$ ] vid direktfällning. Al dosering  $11,5 mg L^{-1}$ , 30h CEB intervall. Grafen längst ner visar en förtydligande bild över membranets sjunkande permeabilitet (93 per 24h) mellan filtreringscyklar och ökningen i permeabilitet efter en CEB (kemisk tvätt) när tillsatt aluminiumdos är  $11,5 mg L^{-1}$ .

## Period 2.3 Direktfällning Mälarvatten, pH justerad och varierande Al-dosering

Under denna period utfördes ytterligare tester med aluminiumdosering. Försöken P2.1-P2.2 visade att flux 75 l/mh eller högre som var önskvärt inte kunde uppnås med de höga aluminiumdoser som krävs för att uppnå nuvarande dricksvattenkvalitet i utgående vatten från görvälverket. Det är känt sedan tidigare att en del av den tillsatta aluminiumdosen bara har en försurande funktion i syfte att uppnå optimal fällnings pH på 6,5-6,7. Kemiska modelleringar, tidsserier från tidigare år, resultat från försök med labbskala och litteraturen användes för att beräkna att ungefär en tredjedel av allt aluminium som doseras möjligtvis kan ersättas med svavelsyra. Under det här försöket användes därför svavelsyra för att ersätta en del av aluminium genom att injicera svavelsyra tillsammans med PAX-XL60 i matarflödet ut från matartanken. Eftersom doserpumpen för svavelsyra inte var dimensionerad för låga flöden förekom det en del försöksperioder med överdosering av svavelsyra och därmed suboptimala pH i matarvattnet. Enligt litteraturen är membranfouling starkt påverkad av pH-värdet.

Perioden kännetecknas främst av en ökande permeabilitet som går hand i hand med den ökande svavelsyradoseringen samt förbättrade pH värden i matarvatten.



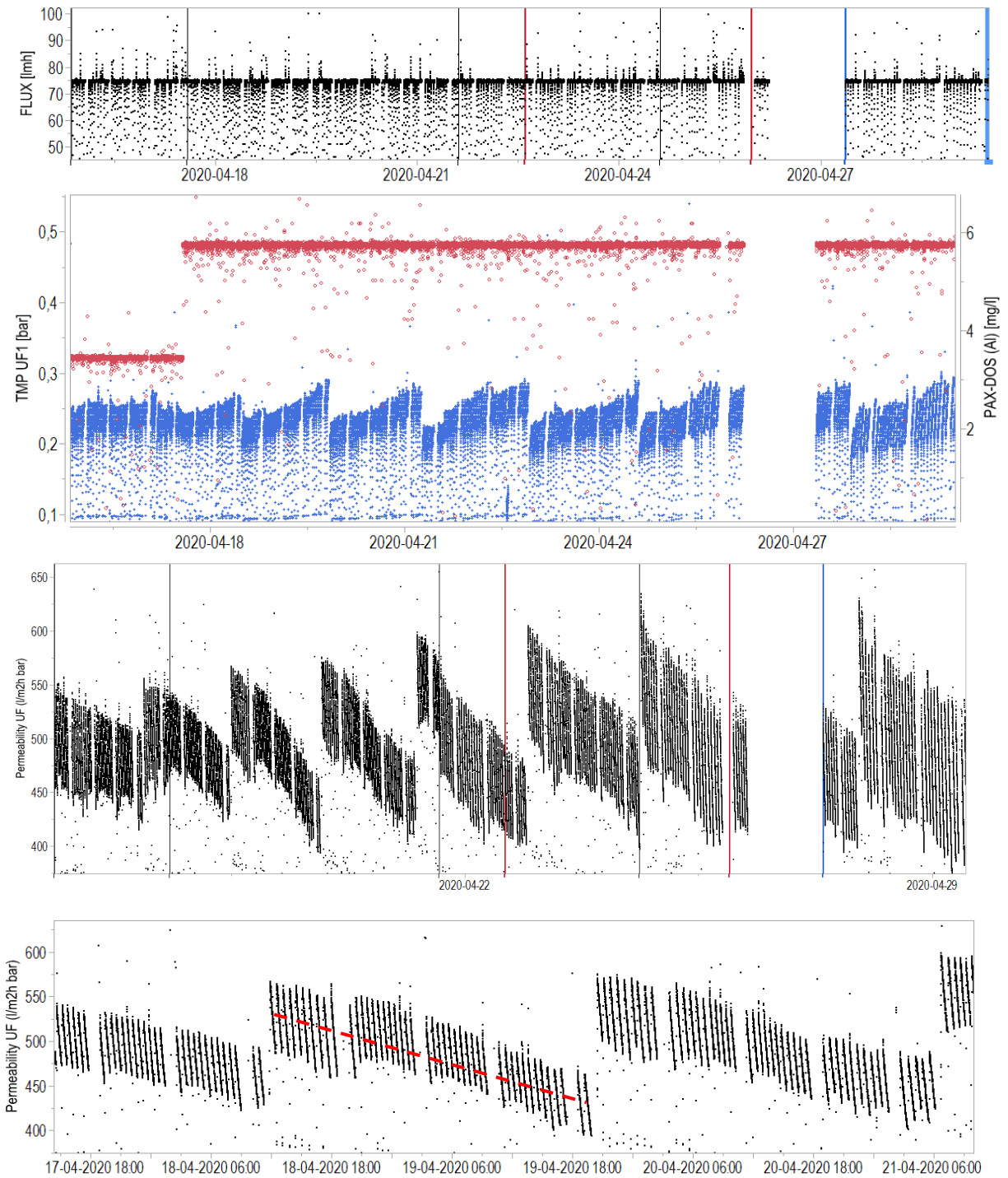
Figur 5.4: Visar mängden vatten som filtreras (FLUX [lmh]), tryckupbyggnaden (TMP) över membranet med enheten bar och hur membranets permeabilitet sjunker [ $L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$ ] för P2.3. Den röda linjen i TMP-diagrammet visar mängden tillsatt Aluminium [ $mg L^{-1}$ ] vid direktfällning. Median TMP 317 vid Al dosering 6  $mg L^{-1}$ , 30h CEB intervall. Längst ner en förtydligande bild över membranets sjunkande permeabilitet (93 per 24h) mellan filtreringscyklar och ökningen i permeabilitet efter en CEB (kemisk tvätt).

## Period 2.4 Direkrfällning med pH justering

Ett stabilt flöde på 75 l/h fyllde matartanken där 5 mg/l svavelsyra tillsattes, det resulterade i att pH sjönk från 7,2 till 6,9 och därefter tillsattes en aluminiumdos på 5,6 mg/l. Vid denna pH justering sjönk alkaliniteten från 45 mg L<sup>-1</sup> till 40 mg L<sup>-1</sup> och UVabs var opåverkad (kap 5.6, figur 5.14). Detta är en indikation på att teorin om att minska aluminiumförbrukning vid direkrfällning är genomförbart med svavelsyra.

Resultaten visar en stabil TMP ökning från 0,2 bar till 0,25 bar, se figur 5.5. Permeabiliteten låg på 620 efter en kemisktvätt och sjönk till 420 innan nästa CEB satte igång.



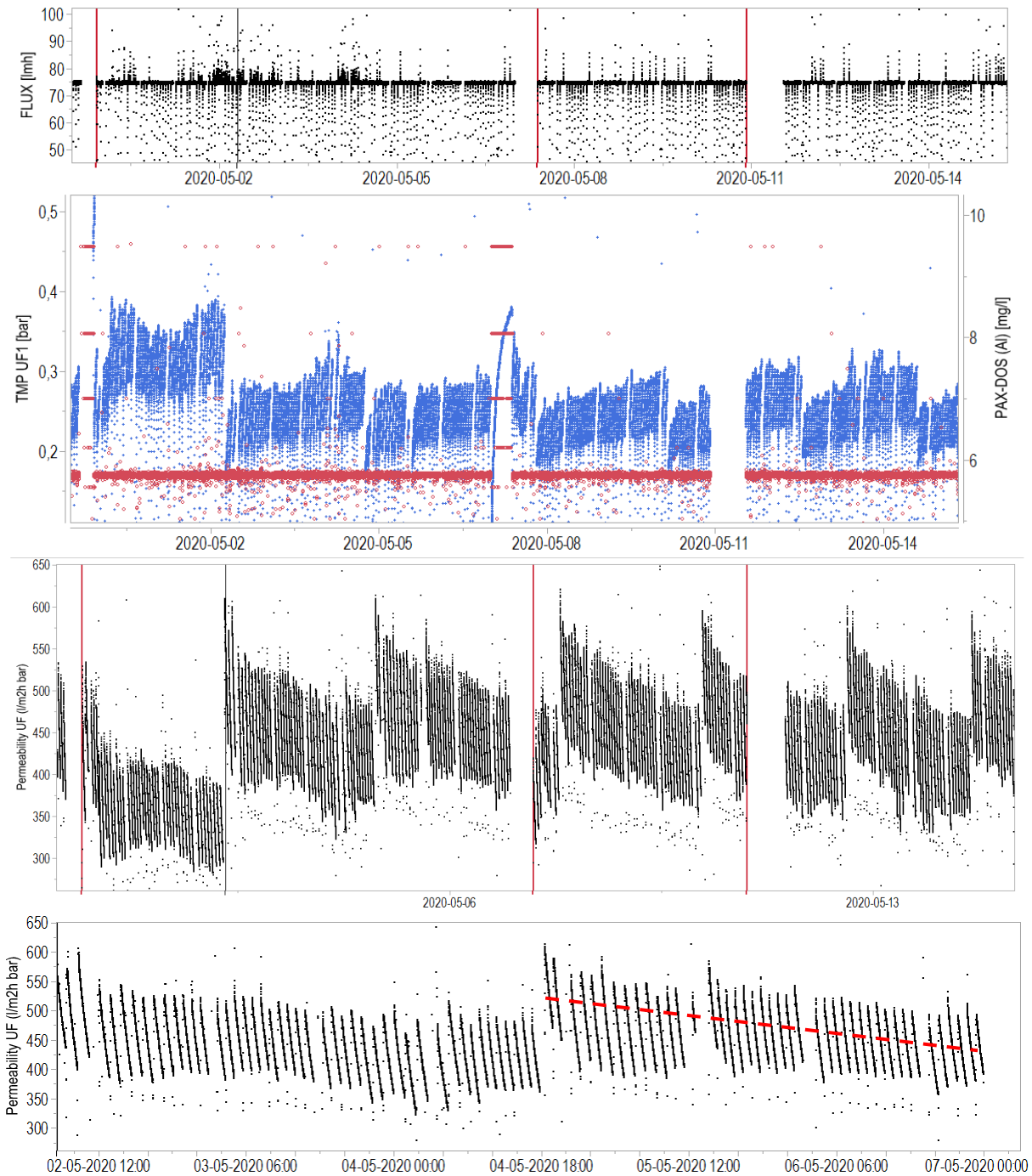


Figur 5.5 Visar mängden vatten som filtreras (FLUX [lmh]), tryckuppbyggnaden (TMP) över membranet med enheten bar och hur membranets permeabilitet sjunker [ $L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1} \cdot bar^{-1}$ ] för P2.4. Den röda linjen i TMP-diagrammet visar mängden tillsatt Aluminium [ $mg \cdot L^{-1}$ ] vid direktfällning. Median TMP (490) vid direktfällning med  $5,8 \text{ mg } L^{-1}$  Al dosering, 30h CEB intervall och  $5 \text{ mg } L^{-1}$  svavelsyra tillsatt för pH justering. Längst ner en förtydligande bild över membranets sjunkande permeabilitet (74 per 24h) mellan filtreringscyklar och ökningen i permeabilitet efter en CEB (kemisk tvätt).

## Period 2.5 Direkrfällning Mälarevatten, intag utan korgbandsfil

Under slutet på april började algbloomning i Mälaren och det resulterade i att korgbandsfilen vid den mekaniska reningen avlägsnades. Vilket i sin tur resulterade i högre halt klorofyll i råvattnet samt större partiklar av organiskt material i matarvattnet till piloten. Med konstant flux på 75 l/mh undersöktes membranets prestanda under algbloomning.

Resultaten i figur 5.6 visar att klorofyll inte påverkar membranets prestanda och att det finns utrymme för att minska CEB intervall då backspolning TMP var relativt lågt under denna period.



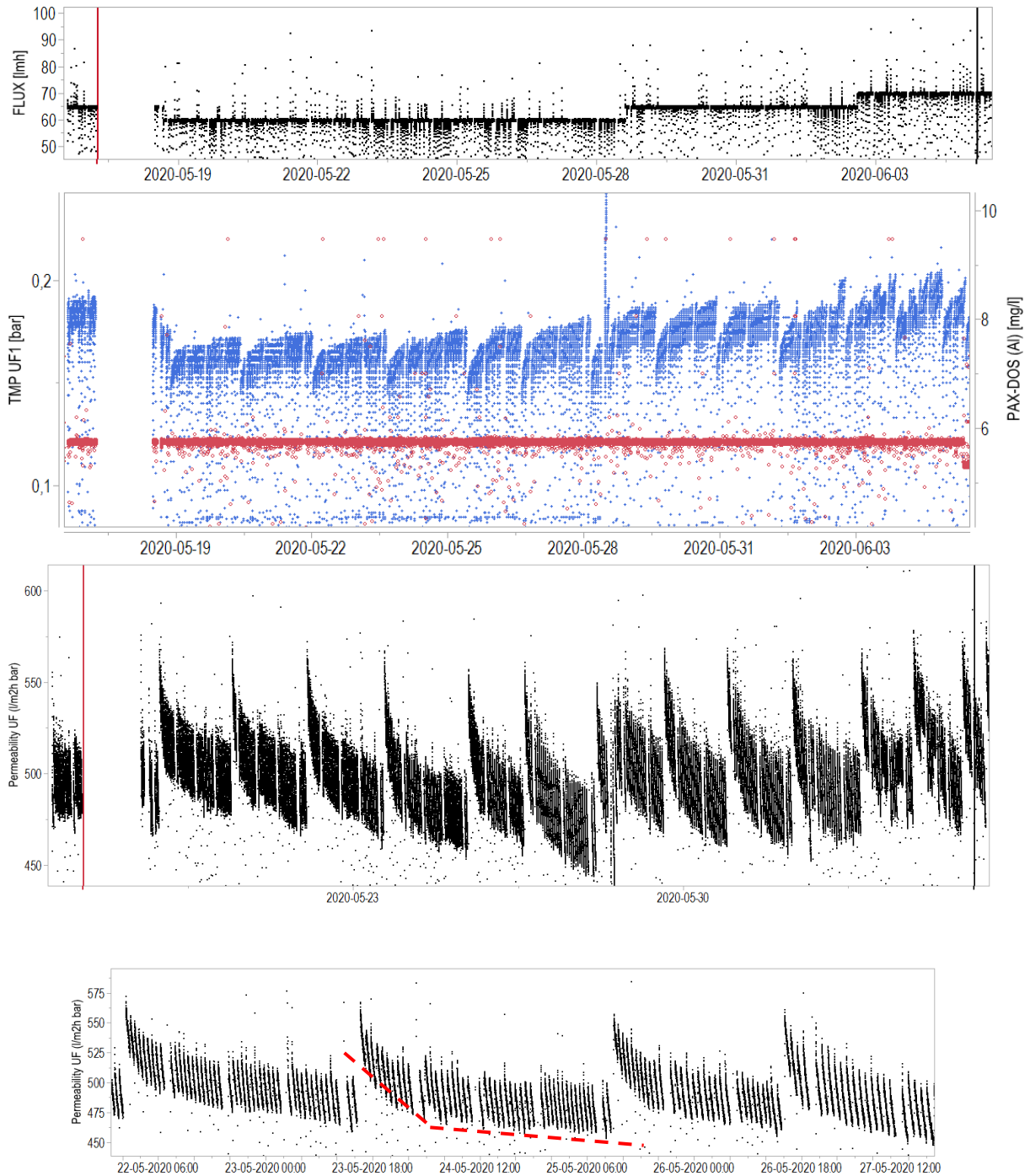
Figur 5.6 Visar mängden vatten som filtreras (FLUX [lmh]), tryckuppbyggnaden (TMP) över membranet med enheten bar och hur membranets permeabilitet sjunker [ $L\ m^{-2}\ h^{-1}\ bar^{-1}$ ] för P2.5. Den röda linjen i TMP-diagrammet visar mängden tillsatt Aluminium [ $mg\ L^{-1}$ ] vid direktfällning. Förtydligande bild över membranets sjunkande permeabilitet mellan filtreringscyklar och ökningen i permeabilitet efter en CEB (kemisktvätt). Där mikrosilen i råvattenintaget är borttagen, period 2.5. Direktfällning med  $5,8\ mg\ L^{-1}$  Al dosering, 55-65h CEB intervall och  $5\ mg\ L^{-1}$  svavelsyra tillsatt för pH justering har en median TMP av 460 och sjunker 28 per dygn.

## 5.3 Försöksperiod P3

Under försöksperiod P3 installerades en tillfällig vattenpump och slang i sandfilterhallen för att leda om fällt vatten från verkets produktion till UF piloten. Flödet från kanalerna till piloten under P3.1 var begränsat och medförde därmed låga flödesinställningar på 60-70 l/mh. Under period P3.2 var flödesbegränsningen åtgärdad.

### Period P3.1 Fällt vatten utan direktfällning

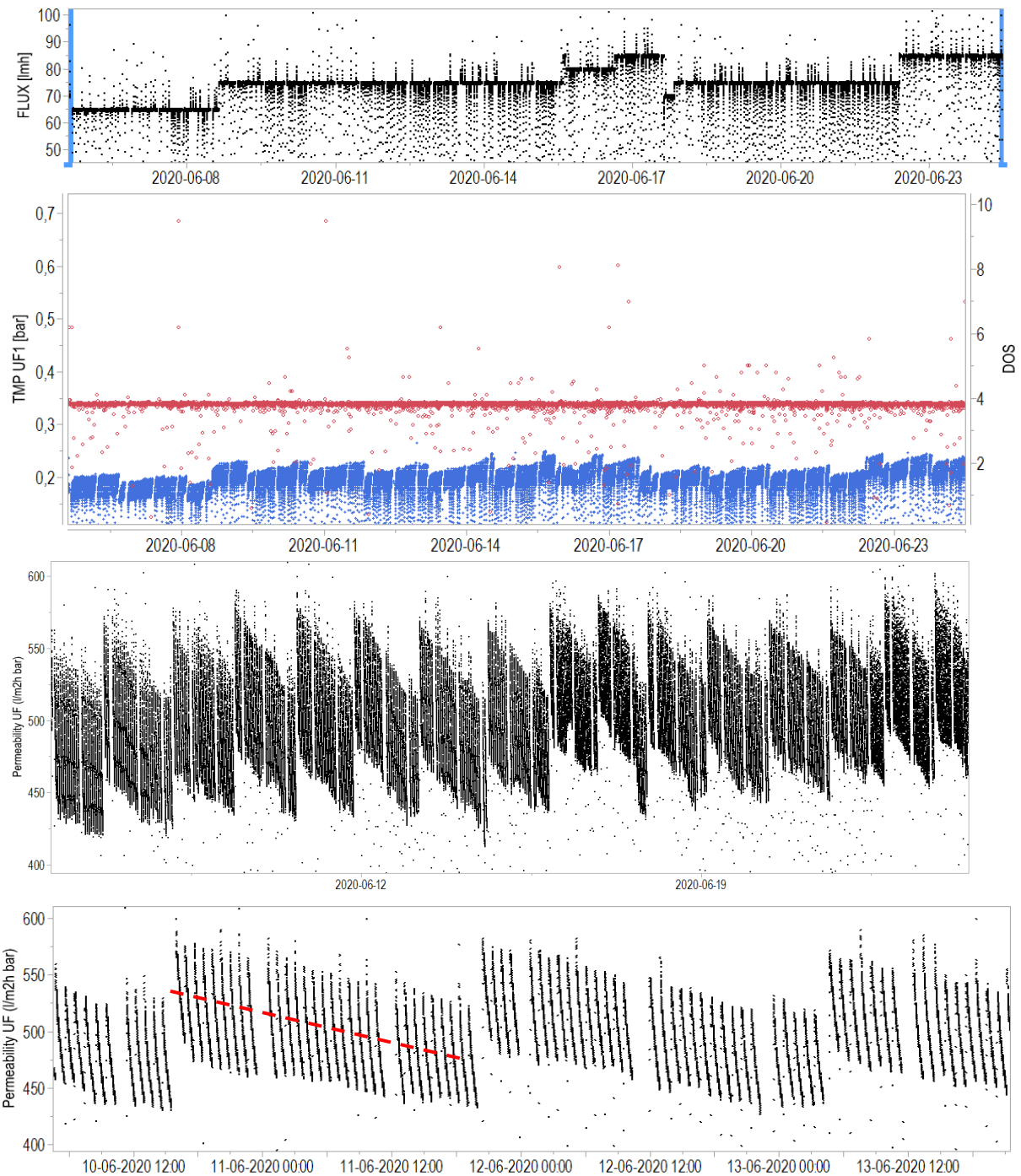
Att filtrera vattnen som innehåller flockar efter konventionell fällning visar stabila TMP värden och en liten TMP ökning med flödes variansen, se TMP grafen i figur 5.7. TMP under backspolning visar inte höga värden utan ett stabilt TMP värde på 0,45 bar (se appendix, figur A10). Under den här perioden avskiljs ingen DOC vid filtrering (se kapitel vattenkvalitet nedan). Under det här försöket uppstår tvåstegsändring i permeabiliteten mellan varje CEB. Permeabiliteten sjunker först väldigt snabbt för att sedan sjunker mera linjärt över tid som i de andra försöken. En möjlig orsak skulle kunna vara en initial beläggning med biopolymerer som sänker permeabiliteten.



Figur 5.7 Visar mängden vatten som filtreras (FLUX [lmh]), tryckupbyggnaden (TMP) över membranet med enheten bar och hur membranets permeabilitet sjunker [ $L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1} \cdot bar^{-1}$ ] för P3.1. Förtydligande bild över membranets sjunkande permeabilitet mellan filtreringscykler och ökningen i permeabilitet efter en CEB (kemisk tvätt). Ingen direktfällning och CEB på 42 h ger ett TMP av 490 som sjunker 34 per dygn. Den röda linjen visar en tvåstegsändring i permeabilitet.

## Period P3.2 Fällt vatten med direktfällning

Under den här perioden tillsätts 3,8 mg L<sup>-1</sup> aluminium i matarvattnet för att undersöka om filtreringen bidrar till DOC-avskiljning. Flödet under den här perioden var inställt på 65-85 l/h, ett något högre flöde än under föregående period. Resultaten sammanställt i figur 5.8 visar lika stabila förhållanden som i föregående försök utan aluminiumdosering, stabil permeabilitet och tryckuppbyggnad över membranen. Resultaten visar en liten ökning i tryckuppbyggnad över membranen till följd av ökat flöde.



Figur 5.8 Visar mängden vatten som filtreras (FLUX [lmh]), tryckupbyggnaden (TMP) över membranet med enheten bar och hur membranets permeabilitet sjunker [ $L\ m^{-2}\ h^{-1}\ bar^{-1}$ ] för P3.2. Den röda linjen i TMP-diagrammet visar mängden tillsatt Aluminium [ $mg\ L^{-1}$ ] vid direktfällning. Förtydligande bild över membranets sjunkande permeabilitet mellan filtreringscykler och ökningen i permeabilitet efter en CEB (kemiskt tvätt). En aluminiumdosering av  $3,8\ mg\ L^{-1}$ , 30 h CEB intervall ger en median TMP av 500 som sjunker 48 per dygn.

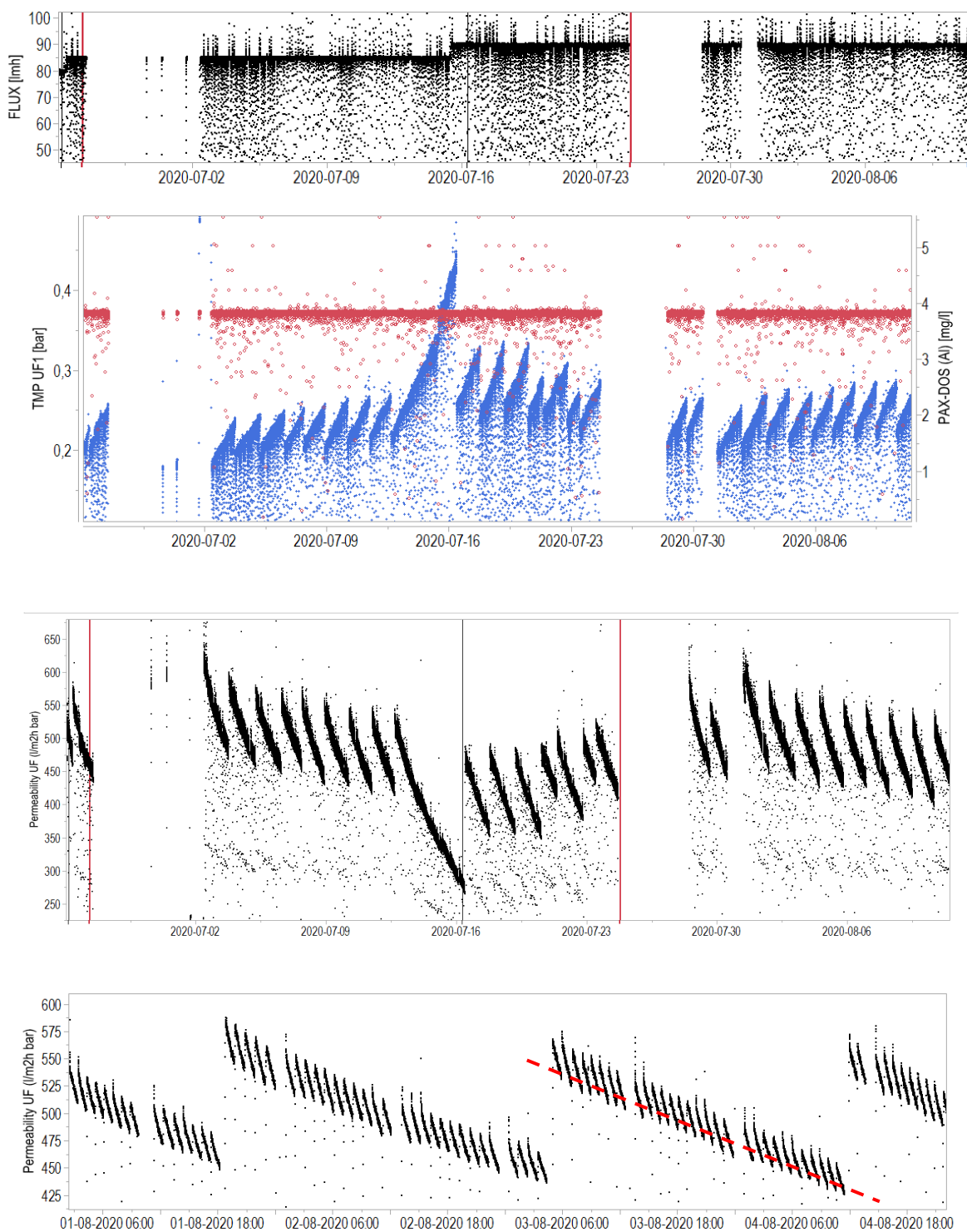
## 5.4 Försöksperiod P4

Under försöksperioden filtrerades återigen sandfiltrat från vattenverket genom ultrafiltermembranen, men den här gången med högre flöde än under perioden P1.

### Period 4.1 Sandfiltrat utan direktfällning

Resultaten för de två flödesinställningarna på 85 l/h och 90 l/h visas i figur 5.9. Vid ett högt flux på 90 l/h är tryckuppbyggnaden i membranet relativt lågt 0,2-0,26 bar. En ökning i TMP och en lägre permeabilitet efter varje CEB fram till 16 juli visas i figur 5.9. Det kan vara resultatet av att hypokloriten bidrog till hål i slangen som doserar hypoklorit. Läckaget upptäcktes den 16 juli när TMP ökade snabbt upp till 0,45 bar. Efter utbytt slang finns det fortfarande en liten ökning i tryckuppbyggnad efter varje CEB vilket kan indikera att det sker fouling utan direktfällning eller att det är en kvarstående effekt från hypokloritpumpen. En CEB med 48h intervall utan åtgärd för fouling kommer med tiden att leda till ett maximalt tryck över membranet på 0,6 bar.



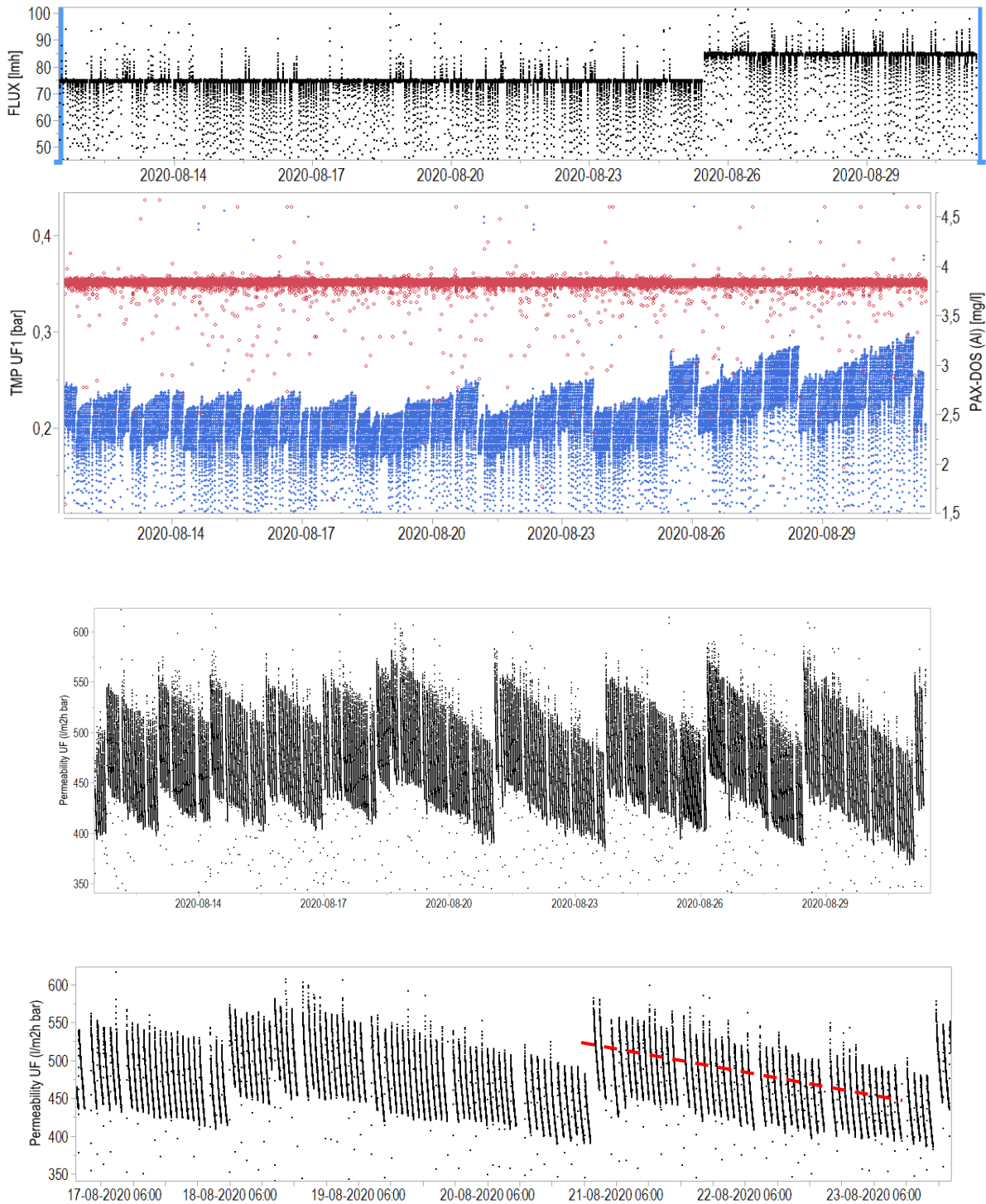


Figur 5.9 Visar mängden vatten som filtreras (FLUX [lmh]), tryckuppbyggnaden (TMP) över membranet med enheten bar och hur membranets permeabilitet sjunker [ $L\ m^{-2}\ h^{-1}\ bar^{-1}$ ] för P4.1. Förtydligande bild över membranets sjunkande permeabilitet mellan filtreringscykler och ökningen i permeabilitet efter en CEB (kemisk tvätt). Ingen direktfällning med 48h CEB intervall ger en median TMP av 500 som sjunker 83 per dygn.

## Period 4.2 Sandfiltrat med direktfällning

Under den sista försöksperioden tillsattes 3,8 mg L<sup>-1</sup> aluminium till sandfiltratet med 75 l/h i flöde och 30 h CEB intervall. Vid test av ett högre flöde på 85 l/h ändrades CEB inställningar till ett intervall på 60 timmar, se figur 5.10.

Resultatet visar en stabil permeabilitet trots den stora variationen i flux. Permeabiliteten har samma startvärde efter varje CEB både för intervall på 30h som för 60h. Resultaten tyder på stabilare drift med större flock och möjligheten att driftsätta med höga flöden som resulterar i låg tryckuppbyggnad i membranen utan fouling. Tryckuppbyggnad under det andra filtreringssteget (TMP över UF2) visar att TMP var något högre än för fällning på flockat vatten, se Appendix figur A11.



Figur 5.10 Visar mängden vatten som filtreras (FLUX [lmh]), tryckupbyggnaden (TMP) över membranet med enheten bar och hur membranets permeabilitet sjunker [L m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup> bar<sup>-1</sup>] för P4.2. Den röda linjen i TMP-diagrammet visar mängden tillsatt Aluminium [mg L<sup>-1</sup>] vid direktfällning. Förtydligande bild över membranets sjunkande permeabilitet mellan filtreringscykler och ökningen i permeabilitet efter en CEB (kemisk tvätt). 3,8 mg L<sup>-1</sup> aluminiumdosering, 30-60h CEB intervall gav en median TMP av 460 som sjunker 29 per dygn.

## 5.5 Sammanfattning: Driftdata

Tabell 5.1 Översikt av förändringar i permeabilitet i de genomförda försöken.

Period	Matarvatten	DPerm [24h <sup>-1</sup> ]	Perm <sub>median</sub> [L m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> bar <sup>-1</sup> ]	dPerm/ Perm <sub>median</sub> *100%	Ref till figur i texten
P1	Sandfiltrat	53	330	16%	5.1
P2.1	Mälarvatten	177	260	68%	5.2
P2.2	"	93	240	38%	5.3
P2.3	"	93	320	29%	5.4
P2.4	"	74	490	15%	5.5
P2.5	"	28	460	6%	5.6
P3.1	Flockat	34	490	7%	5.7
P3.2	"	48	500	10%	5.8
P4.1	Sandfiltrat	83	500	17%	5.9
P4.2	"	29	460	6%	5.10

dPerm = Genomsnittlig förlust av permeabilitet över tid under samma driftförhållanden och en period av av 24 timmar.

Permeabiliteten (Perm<sub>median</sub>) som beräknades under fasta försöksförhållanden varierade mellan 240 till 500 under försöksperioden och under de olika försöksförhållandena. Värdet över 400 anses vara fördelaktiga med avseende på strömförbrukning medan värden under 300 antyder utmaningar med försök eller begränsningar.

Stora förändringar av permeabiliteten mellan CEB (dPERM) antyder ostabila förhållanden. Små relativa förändringar över tid (< 10 % är markerad i grön i tabellen ovan) är förmodligen fördelaktiga för membranet och tyder på stabil drift.

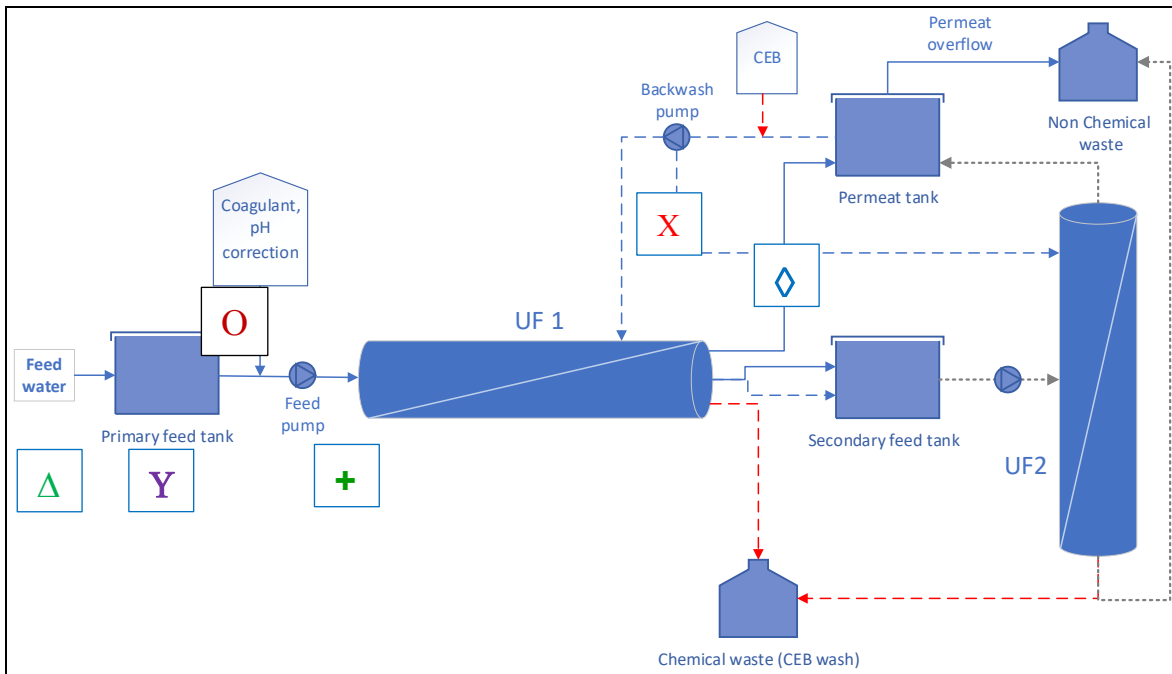
Tabell 5.2 Översikt av inställningsändringar och resulterande driftförhållanden. Under period 2.3 undersöktes tillsats av syra i matarflödet med hänsyn till inkonsekventa resultat är perioden borttagen från tabellen.

Period	Matarvatten	Modifiering	Start	Stop	FLUX [lmh]	AL <sub>DOS</sub> [mg L <sup>-1</sup> ]	Permeabilitet (efter- innan) CEB	TMP (efter-innan) CEB
P1	Sandfilter		December 2019	28 Jan 14.00	80	0	380-280	0,35-0,45
P2.1	Mälarvatten		28 Jan 14.00	31 Jan	75	9,2	350-200	0,30-0,60
P2.2		Variabel dosering	31 Jan	21.februari 19.00	55	9,7	360-240	0,24-0,39
					55	11,5	360-170	0,26-0,52
					55	13,3	350-160	0,28-0,58
P2.4		Tillsats av syra i matartank	15.april 20:15	29.april 10.00	75	5,8	620-420	0,20-0,25
P2.5		Mälarvatten innan korgblandsil	29 april 12.00	15 maj 08.00	75	5,8	600-400	0,25-0,28
P3.1	Fällt vatten		16. maj 13.00	5 juni 8.30	60	0	570-470	0,14-0,18
					65	0	580-480	0,15-0,19
					70	0	580-480	0,16-0,20
P3.2		Al dosering	5 juni 14.30	24 juni 12.00	65	3,8	560-420	0,16-0,20
					75	3,8	580-440	0,16-0,22
					85	3,8	590-450	0,18-0,22
P4.1	Sandfiltrat		25 juni 01.00	10 aug 8.30	85	0	600-420	0,16-0,24
					90	0	600-450	0,20-0,26
P4.2		Al dosering	11 aug 12.00	31 aug 11.00	75	3,8	570-400	0,17-0,25
					85	3,8	560-390	0,20-0,29

## 5.6 Sammanfattning: Vattenkvalitet

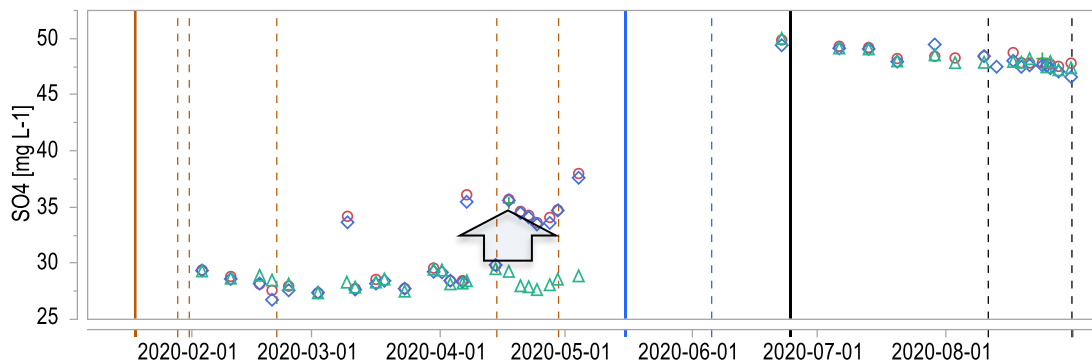
Nedan redovisas förändringar av de vattenkemiska vattenparametrarna i rå- och processvatten. Färgkoderna som används i figurerna 5.11 till 5.14.

provplats	UF_DF	UF1_feed	UF1_permeat	UF1_backwash	Matar vatten	Mattar vatten_tank
Symbol	O	+	◇	X	△	Y



Figur 2.1.b Flödesschema över ultrafilterprocessen i pilotanläggningen med färgkoder för provplatser.

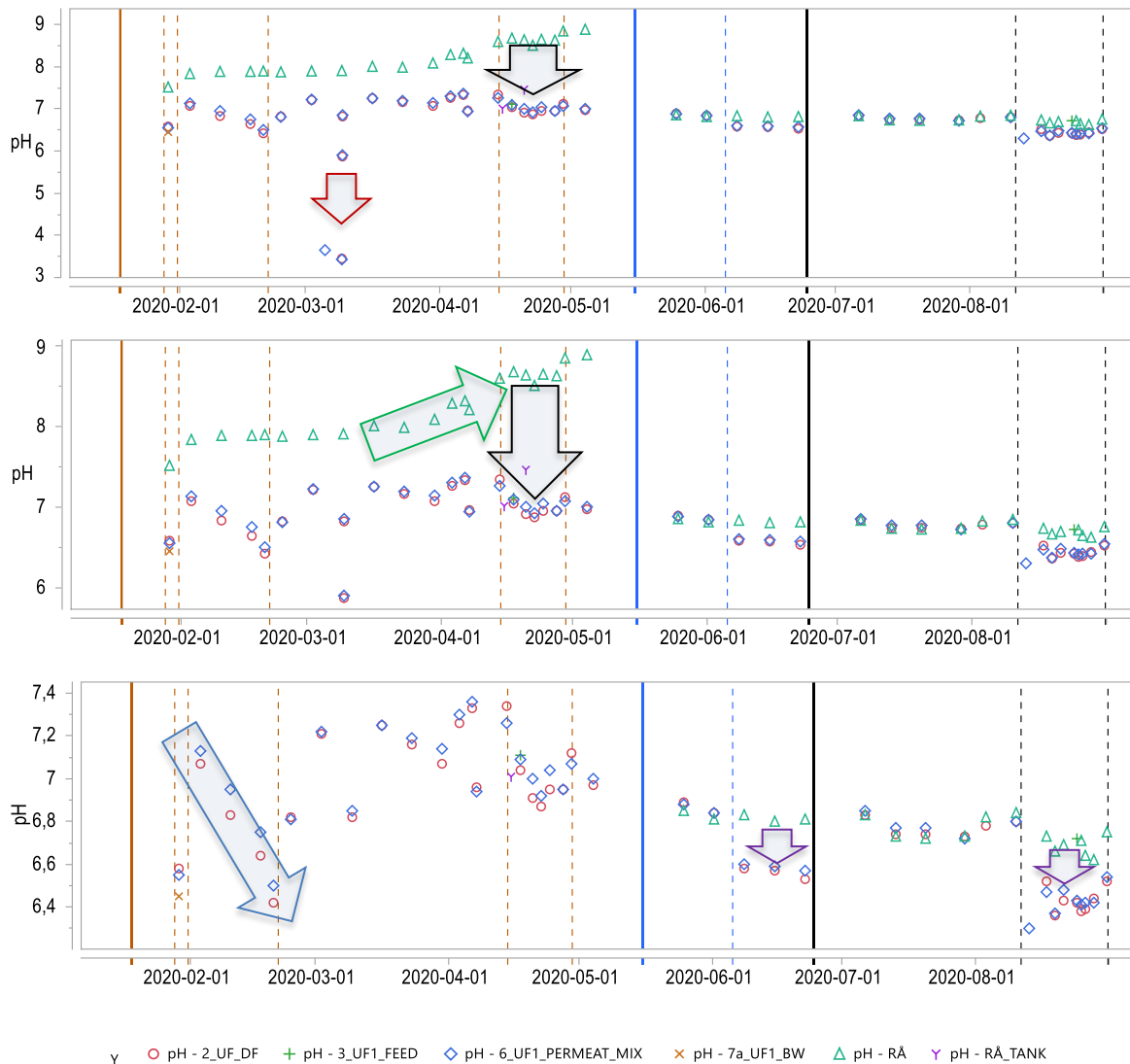
Analyser av anjonerna sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) och klorid ( $\text{Cl}^-$ ) användes för att kontrollera tillsats av syra och tillsats av PAX-60XL fällningskemikalie. Användningen av fällt vatten i P3 (blå vertikal linje i figuren nedan) syns i de högre sulfathalterna som uppmättes i juli. Sulfat ökar genom Görvålverket på grund av den rådande ALG tillsatsen från halten i råvatten av ca  $28 \text{ mg L}^{-1}$  till halter fällt vatten med ca  $50 \text{ mg L}^{-1}$ . Pilen i figuren nedan redovisa hur sulfathalten ökar i råvatten när tillsats av syra genomförs i råvattentanken under period P2.4 den 15e april.



Figur 5.11 Tidsserie över halten sulfat i råvatten (feed) och permeat. Den svarta pilen markerar tidpunkten när svavelsyran doserades i råvattentanken istället för att doseras i feed (P2.4). Under alla andra perioder förändras inte svavelsyrahalten över UF.

Förändringar av pH-värdet under försöket redovisas för både matarvatten och permeat på tre olika skalor, se figur 5.12. I de två översta graferna i figuren ser man hur pH värdet ökar i matarvatten under den pågående algblomningen samt hur mycket pH sjönk i matarvatten när de första försöken med pH-justering utfördes. Pilarna indikerar även hur mycket pH sjönk efter tillsats av PAX-koagulant. I den nedre delen av figuren finns det pilar inlagda vid tre ställen som visar hur pH-värdet förändrades över tid. Ökande doser av PAX under period P2.2 sänkte pH från 8,0 till ungefär 6,4 vilket är lite lägre än i dagens process. Därefter sänktes pH ungefär till mellan 7,0-7,2. Under period 2.3 där syra tillsattes i matartanken sjönk pH i permeatet till ungefär 7,0. God avskiljning av UV-absorbans förekom trots pH värdet låg mellan 0,3–0,4 pH enheter över fullskaleverket (6,6-6,7). Det höga pH värdet är i detta fall en effekt av förekomst av alger. Under denna period ligger alkaliniteten obetydligt högre ( $37 \text{ mg L}^{-1}$ ) jämfört med den fullskaliga processen ( $34 \text{ mg L}^{-1}$ ). Under perioderna P3 och P4 förblir pH runt 6,8 som i Görvälverket eller så sänktes det ner till mellan 6,4 och 6,6.

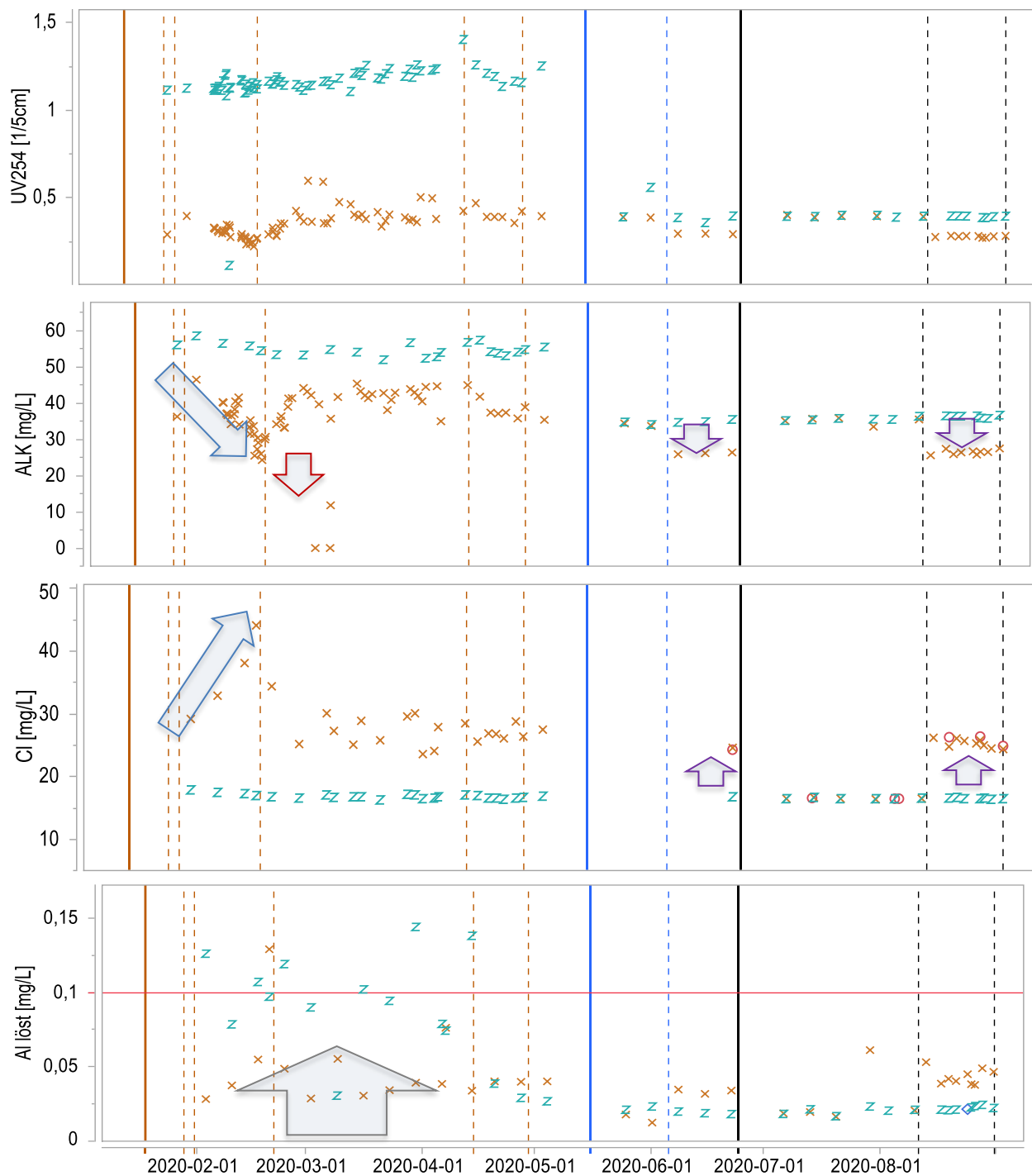
Från de tidigare försöken framkom att ett lägre pH inte är önskvärt för membranprocessen. Skulle den framtida UF-placeringen avse behandling av fällt vatten eller sandfiltrat så kan även användning av lut vara av behov. Detta för att motverka en allt för stor pH-sänkning när man väljer att fälla även över UF.



Figur 5.12 Tidsserier av labb-baserade pH värden på tre olika skalor. Överst hela skalan, i mitten utan de lägsta pH värden vid felaktig dosering av svavelsyra och nedan på en skala som bara visar pH i permeat och vissa feed pH. Den röda pilen markerar tillfället när svavelsyra överdoserades varvid pH sjönk kraftigt. Den blå pilen markerar ökande Al dosen som ledde till sjunkande pH (P2.2-2.3) och högre kloridhalter (se nedan). Den svarta pilen markerar tidpunkten när svavelsyran doserades i råvattentanken (P2.4) istället för att dosera i flödet (P2.3). Den gröna pilen markera perioden där algblomning kom igång varvid pH värdet i råvatten steg kraftigt. De violetta pilarna markerar perioder när Al doserades i fällt vatten (P3.2) och i sandfiltrat (P4.2).

Förändringar av UV254, Alkalinitet, Klorid och löst halt Al redovisas nedan. Som ovan så lyfts perioden med höga PAX-doser fram i form av blåa pilar. Ökande kloridhalter indikerar ökad dos och sänkt alkalinitet som förväntat och är i enlighet med modelleringar. Användning av PAX koagulant under period 3.2 och 4.2 resulterade i ökande halter klorid och avsänkning av alkalinitet.



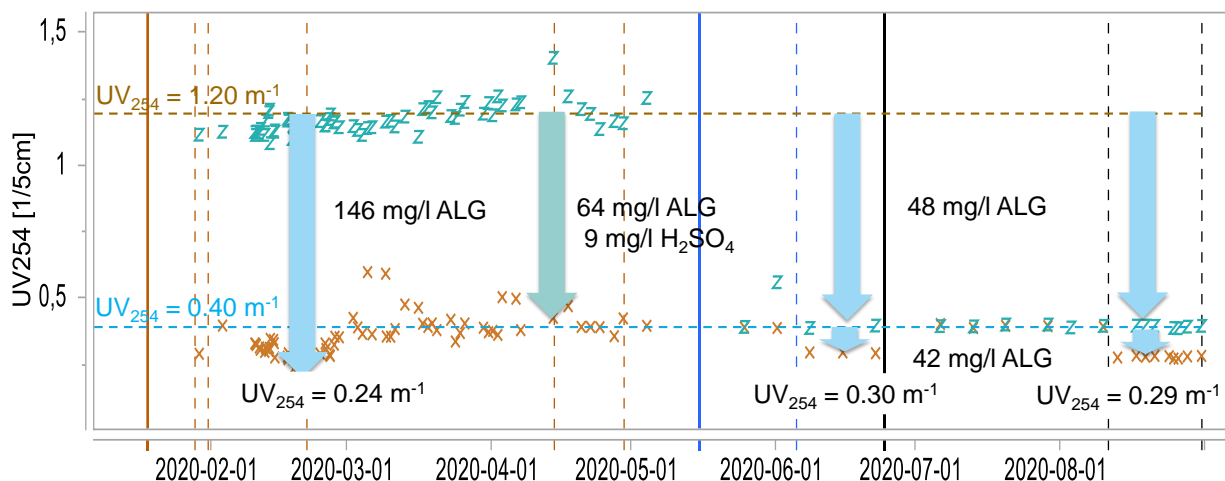


Figur 5.13: Labb baserade värden på förändringar av UV254, alkaliniteten (ALK, [mg L<sup>-1</sup>]), klorid (Cl, [mg L<sup>-1</sup>]) och löst aluminium (Al löst [mg L<sup>-1</sup>]) över tid. Gröna mätvärden är resultat för råvatten och de bruna är värden för permeat. Pilarnas färg enligt förklaringen ovan. Den gråa pilen markerar perioden där löst Al stiger efter fällningen (P2.1-P2.3).

Under perioden 2.2-2.3 ligger halterna för löst Al nära intill eller över gränsvärdet 0,1 mg L<sup>-1</sup>. När svavelsyra används för dosering (P2.4), eller när fällt vatten (P3.2) eller sandfiltrat (P4.2)

behandlas med lägre Al doser så ligger löst Al alltid under  $0,05 \text{ mg L}^{-1}$  i permeatet. Vanligtvis kontrolleras halten löst Al av pH. Eftersom pH i fällningen under P2.1-2.3 var samma som under P2.4 där löst Al var mycket lägre så är inte pH den styrande faktorn i detta fall. Resultaten kan tolkas som att det tillfördes mer Al under P2.1-P 2.3 än vad humusämnen kunde binda upp vilket resulterade i fritt Al. Resultat från perioden P3.2 och P4.2 visar att det går att åstadkomma en nettoavskiljning av löst Al även när Al dosering sker. Möjligen skulle denna effekt kunna utnyttjas i framtiden. I praktiken skulle en överdosering av ALG kunna ske i nuvarande fullskaleverket som leder till ett lägre pH värde men möjligen en bättre avskiljning av organiskt material. Höga halter av löst Al efter sandfilter eller efter fällt vatten skulle i så fall kunna fällas bort över UF genom att bara höja pH värdet med lut.

En syntes av användning av fällningskemikalie och de resulterande UV254 [ $1/5\text{cm}$ ] i permeatet redovisas nedan. UV254 i råvatten (brun streckade linje) låg runt  $1,2$  [ $1/5\text{cm}$ ] och sänktes efter sandfilter (blå streckade linje) till ca  $0,4$  [ $1/5\text{cm}$ ] i fullskale anläggningen. I denna figur redovisas PAX (Al mg/l) dosen i enheter mg/l ALG ( $M_w = 594 \text{ g L}^{-1}$ ) för att kunna jämföra med doseringen av fullskaleanläggningen under samma period ( $46-50 \text{ mg L}^{-1}$ ). Vid den högsta dosen under period P2.2 producerades en permeat-kvalitet av  $0,24$  [ $1/5\text{cm}$ ], senare under period 3.2 och 4.2 värden runt  $0,3$  [ $1/5\text{cm}$ ] vilket är ca 30% sämre än fullskaleanläggningen.

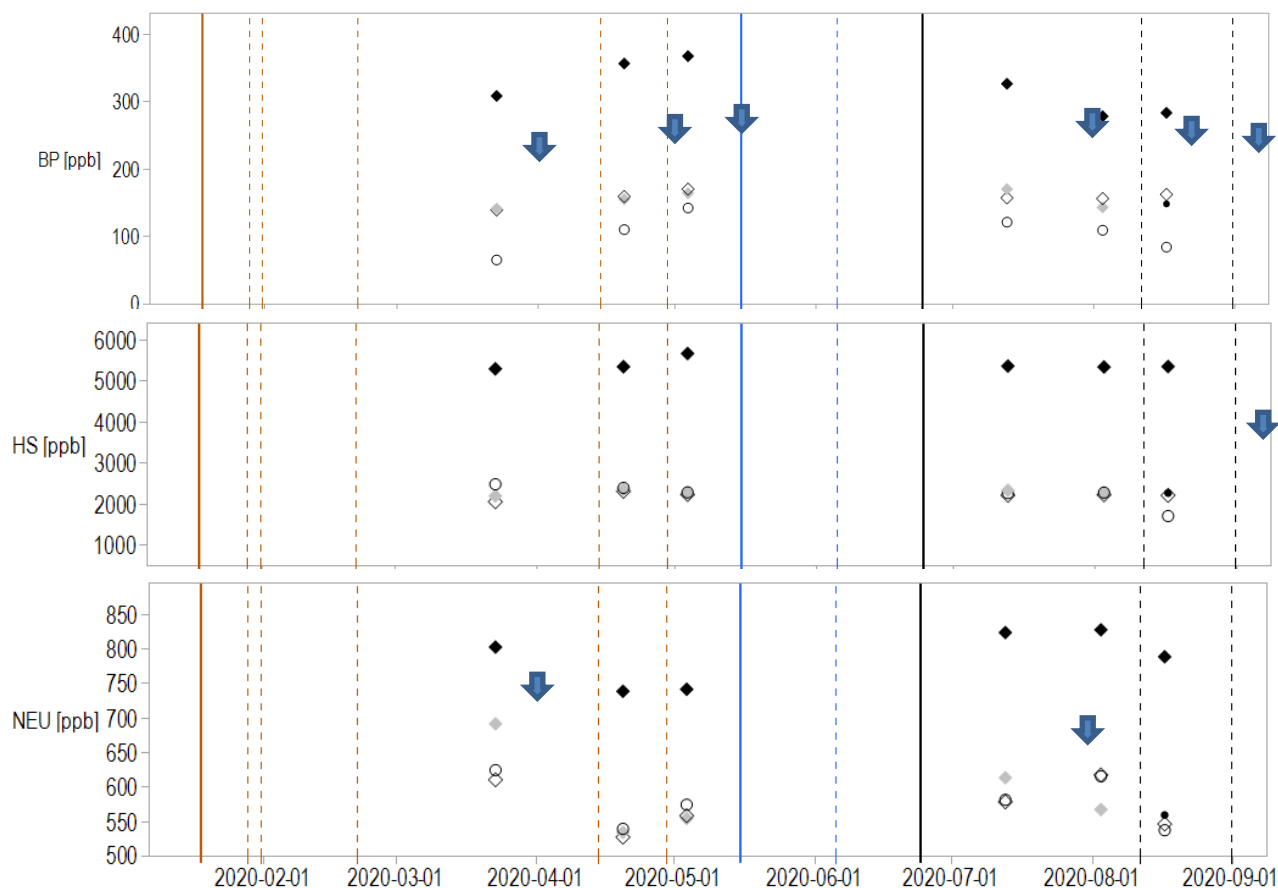


Figur 5.14: Jämförelse mellan fällning med Al och fällning med pH justering och Al.

Samma kvalitet med avseende på UV254 som fullskaleprocessen kan erhållas vid en dosering av  $64 \text{ mg L}^{-1}$  ALG ( $5,8 \text{ mg L}^{-1}$  PAX) i kombination med svavelsyra motsvarande  $9 \text{ mg L}^{-1}$ . Denna mängd svavelsyra motsvarar ca  $27 \text{ mg L}^{-1}$  ALG eller ca  $3 \text{ mg L}^{-1}$  PAX. I fullskaleprocessen används en betydande del (10-20%) av ALG för att uppnå ett optimalt fällnings-pH. Den minskade användningen av Al-koagulant vid fällning över UF kommer att leda till minskad flock och möjliggör lägre kostnader då inköp av svavelsyra är billigare än inköp av PAX eller ALG. Det kan konstateras att PAX-60XL lämpar sig sämre än ALG när mängden jämförs med varandra i form av mängden ren Al [ $\text{mg L}^{-1}$ ].

Avskiljningen av organiskt material karakteriserades även via LC-OCD för 6 specifika tillfällen under försöket. Nedan redovisas resultatet för parametrarna biopolymer (BP), huminsubstanser

(HS) och mängden neutrala fraktioner (NEU) för de olika provplatserna som även inkluderar den fullskaliga anläggningen, figur 5.15. Biopolymerer är en delmängd av naturligt organiskt material med en relativt stor molekylvikt (30000 Dalton) som härrör från alger eller bakterier. Huminsubstanser som är en annan delkomponent av naturligt organiskt material av mindre storlek (ca 500-2000 Dalton) står för en stor del av naturligt organiskt material (40-60%) och för den största andelen (>80%) av UV254 i vatten. Neutrala ämnen är oladdade molekyler av låg halt och mindre storlek (< 300 Dalton). Dessa ämnen är svårfällda och kopplas till den biotillgängliga fraktionen av naturligt organiskt kol. Vattenkvalitet med avseende på biopolymerer i permeatet (o) är bättre än efter fällningsprocessen under hela perioden. Skillnader i halten huminsubstanser (HS) och neutrala (NEU) är obetydliga för det mesta. Under den första provtagningen som förekom under period 2.3 så är fällning över UF bättre med avseende på BP och NEU. Under provtagningen var PAX dosen runt 5,8 mg L<sup>-1</sup> (ALG = 64 mg L<sup>-1</sup>) och TMP låg mellan 0,3-0,4 bar, för högt för att vara genomförbart under en längre period. Detaljerade analysresultat redovisas i tabell 5.3A och 5.3B.



Figur 5.15 Resultat från LC-OCD analyser för fyra provplaster: matarvatten (◆), permeat (○), sandfilter (◇), utgående dricksvatten (◊).

Tabell 5.3A Resultat av förhållanden i beredningen samt resultat av LC-OCD från pilotförsök analyser för ett antal försöksperioder.

Period	Datum	[mg L <sup>-1</sup> ]	[mg L <sup>-1</sup> ]	[m <sup>-1</sup> ]		[mg L <sup>-1</sup> ]	[mg L <sup>-1</sup> ]	[m <sup>-1</sup> ]		[mg L <sup>-1</sup> ]	[µg L <sup>-1</sup> ]				[µg L <sup>-1</sup> ]				[µg L <sup>-1</sup> ]			
		ALG	TOC	pH	UV254	PAX	DOC	pH	UV254	Al <sub>löst</sub>	BP				NEU				HS			
		GÖR	GÖR	GÖR	GÖR		Perm	Perm	Perm	Perm	Feed	Perm	SF	DV	Feed	Perm	SF	DV	Feed	Perm	SF	DV
P 2.2	03-23	52	4.2	6.8	7.6	5.8	4.5	7.2	8.4	0.03	310	70	140	140	800	620	690	610	5290	2480	2200	2060
P 2.4	04-23	51	4.3	6.8	8	5.8	4.3	7	7.8	0.04	360	110	160	160	740	540	530	530	5340	2390	2350	2310
P 2.4	05-04	54	4.4	6.7	8	5.8	4.3	7	8	0.04	370	140	160	170	740	570	550	560	5670	2280	2270	2230
P 3.1	07-13	48	4.2	6.6	7.8	0.0	4.2	6.8	7.8	0.02	170	120	170	160	610	580	610	580	2330	2270	2330	2210
P 4.1	08-13	46	4.3	6.6	7.8	3.9	4.2	6.3	8	0.05	140	110	140	160	570	620	570	620	2270	2280	2270	2220
P 4.2	08-17	45	4.3	6.6	7.8	3.9 <sup>#</sup>	3.2	6.5	5.6	0.04	150	80	150	160	560	540	560	550	2270	1710	2270	2210

# 3.9 mg L<sup>-1</sup> PAX motsvarar ca 43 mg L<sup>-1</sup> ALG. BP = biopolymerer, NEU = neutrals och HS = Huminsubstanser enligt LC\_OCD analys.

Tabell 5.3B: Resultat av förhållanden i beredningen samt resultat av LC-OCD för Huminsubstanser och biopolymerer från pilotförsök analyser för tre perioder där även vatten från sekundära membranet analyserades där "Feed2" är backspolningsvattnet från steg 1 och "Perm2" permeat av det andra steget.

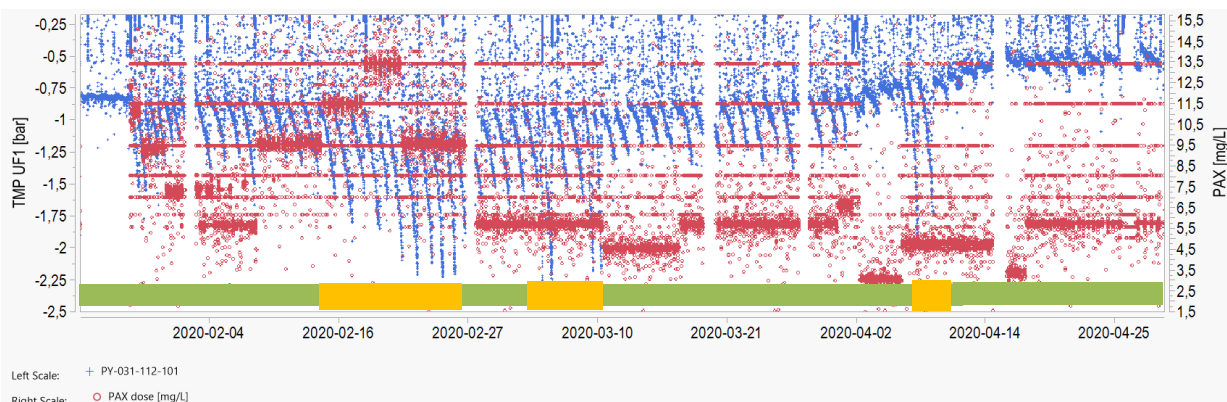
Period	Datum	[mg L <sup>-1</sup> ]	[mg L <sup>-1</sup> ]	[m <sup>-1</sup> ]		[µg L <sup>-1</sup> ]				[µg L <sup>-1</sup> ]							
		ALG	TOC	pH	UV254	BP				HS							
		GÖR	GÖR	GÖR	GÖR	Feed	Perm	SF	DV	Feed2	Perm2	Feed	Perm	SF	DV	Feed2	Perm2
P 3.1	07-13	48	4.2	6.6	7.8	170	120	170	160	940	90	2330	2270	2330	2210	2420	2330
P 4.1	08-13	46	4.3	6.6	7.8	140	110	140	160	960	80	2270	2280	2270	2220	2280	2260
P 4.2	08-17	45	4.3	6.6	7.8	150	80	150	160	240	120	2270	1710	2270	2210	2220	1970

BP = biopolymerer och HS = Huminsubstanser enligt LC\_OCD analys.

De grön markerade fälten indikerar perioder där pilotförsöken gav bättre vattenkvalitet än fullskaleanläggningen, de röda sämre. Ofärgade områden gav lika bra resultat. Det är anmärkningsvärt att UV254 ligger runt  $5,6 \pm 0,1$  samt att DOC ligger runt  $3,3 \pm 0,1$  under period 4.2. Försöket ger en indikation på att ytterligare ca  $1,1 \text{ mg L}^{-1}$  DOC kan avskiljas efter att vattnet fällts med  $45 \text{ mg L}^{-1}$  ALG i fullskaleprocessen. Den utökade avskiljning av DOC sker till en kostnad av ytterligare  $42 \text{ mg L}^{-1}$  om man räknar om PAX förbrukning till ALG. Det som kanske är ännu mer intressant är att halten biopolymerer kan sänkas med ca 50% jämfört med fullskaleanläggningen ( $80 \mu\text{g L}^{-1}$  jämfört  $160 \mu\text{g L}^{-1}$ ). Detta sker dock till ett pris av en ovanlig hög Al dos ( $45 + 43$  enligt tabellen ovan) Det finns litteratur som kopplar förekomst av biopolymerer till BDOC eller AOC. Det vore intressant att följa upp detta resultat med specifika försök om BDOC. Liknade låga halter av biopolymerer uppnåddes även under P2.2 där en högre Al dos användes. Under dessa försök sänktes dock varken DOC eller UV lika mycket.

Backspolningsvatten från det första steget samlas i en tank och används sedan som matarvatten i det andra filtersteget. Analyser från förekomst av biopolymerer (BP) i matarvatten under det andra filtersteget indikerar att BP anrikas i membranet och spolats sedan tillbaka. Under två försöksperioder där ingen direktfällning förekom (P3.1 och P4.1) mättes värden för BP upp till  $0,9 \text{ mg L}^{-1}$  i matarvattnet för det andra steget ("Feed2" i tabell 5.3B), dvs sju gånger över det som mättes i matarvatten ("Feed" i Tabell 5.3B). Däremot, när fällning (P4.2) förekom, så var halten BP mycket lägre i matarvattnet till det andra steget. Detta skulle kunna indikera att en stor andel av BP kan överföras till partikulär form när man fäller över UF. Man kan tolka resultaten som att fällningen förmodligen förhindrar att BP är i löst form och därför inte kan tränga in sig i membranet. Den förväntade effekten av detta är minskad fouling.

Höga negativa värden för TMP vid backspolning (BW) är ett tecken för hur många partiklar som har hunnit tränga djupt in i membranet och indikerar hög reversibel fouling. Hela tidsserien av TMP vid backspolning visas nedan.



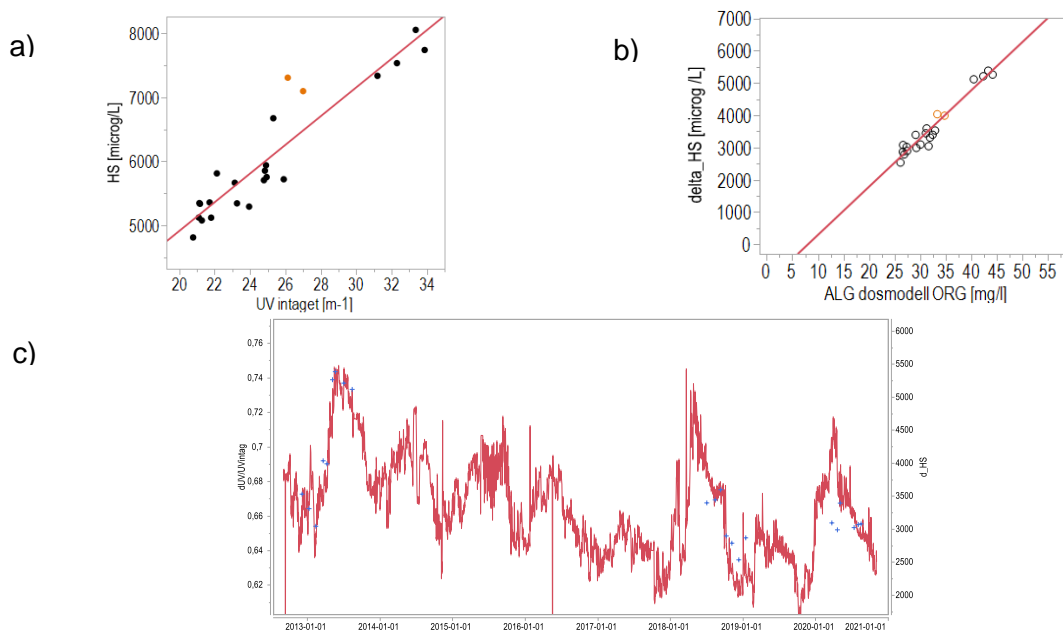
Figur 6.4 TMP vid BW (blå) och tillsats PAX (röd) som funktion av tid. Orange markerade tidsperioder indikerar ohållbara driftförhållanden, gula perioder där driften är ansträngd ( $\text{PAX} > 7 \text{ mg L}^{-1}$ ) och gröna perioder där driften är optimal.

De lägsta erhållna DOC i permeatet ligger nära  $3,0 \text{ mg L}^{-1}$  (Figur 6.3) och UV  $5,5 \text{ [m}^{-1}\text{]}$  vid en ALG dos (omräknad från PAX) av  $146 \text{ mg L}^{-1}$ . Under dessa förhållanden ligger TMP över  $0,45 \text{ bar}$  och trycket vid backspolning (BW TMP) ligger under  $-1,5 \text{ bar}$ . Båda indikerar att membranet är starkt belastat under dessa förhållanden. Under dessa förhållanden är driften oekonomisk och förkortar

förmodligen membranets livslängd. Nedan redovisas TMP vid BW som är ett mått på hur svårt det är att bakspola membranet.

Ett minimivärde<sup>3</sup> för hur mycket DOC som är kvar efter direktfällning över UF ligger förmodligen strax över 3,5 [mg L<sup>-1</sup>] och som motsvarar ett UV254 av ca. 7,5 [m<sup>-1</sup>]. Möjligen kan DOC i permeatet sänkas med maximalt ytterligare 10 % om det visar sig att pH-effekten från labskalepiloten (Figur 6.2) kan överföras till fullskaleanläggningen och att doseringen av pH sker redan i matarvatten. Eftersom lägre pH medför större risk för löst Al så bör fällnings-pH värden under 6,3 undvikas. För att kunna uppnå detta bedöms dosen behöva ligga runt 5 mg L<sup>-1</sup> Al eller vid ca 55 mg L<sup>-1</sup> ALG. En del av ALG kan förmodligen ersättas med svavelsyra.

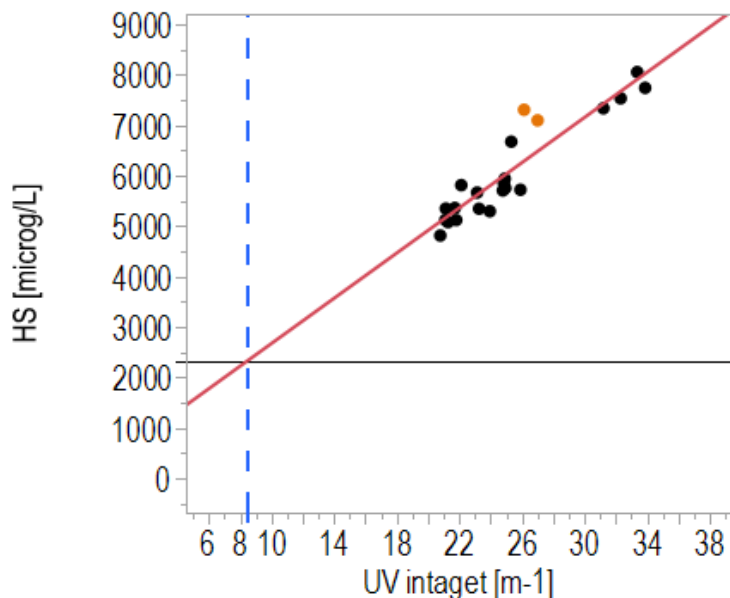
Sedan 2013 mäter Görvälverket UV-absorbans både i råvatten (UV254<sub>Intag</sub>) och i vatten som har passerat sandfilter (UV sandfilter). Förändringar i UV signalen kan kopplas till förekomst av humussyror som identifieras via LC-OCD analys. Nedan redovisas resultat från en utvärdering av de föreliggande LC-OCD analyser under perioden 2013-2019 där bland annat halten HS bestämdes. UV signalen vid intaget (UV254<sub>Intag</sub>) är tydligt kopplat till koncentration av uppmätt halt HS i råvatten. Avskiljningen av HS (delta\_HS) under beredningen kan kopplas till relativa förändringar i UV (dUV/UV<sub>Intag</sub>). Dessutom kan avskiljningen lätt predikteras med en förenklad dosmodell som togs fram i forskningsprojekt tidigare.



Figur 6.5: Samband mellan halt HS och UV254 vid intaget (a), samband mellan en förenklad dosmodell som bara tar hänsyn till halt TOC och inte alkalinitet ( $ALG = 13,1 * UV + 1,91 * TOC$ ) och skillnader i HS mellan Intaget och efter sandfilter (b) samt en tidsserie över relativa förändringar av UV (dUV/UV<sub>Intaget</sub>; röd linje) under beredningen och skillnaden i halten HS (dHS; blå marker [ $\mu\text{g L}^{-1}$ ]) över tid (c).

<sup>3</sup> Minimivärdet definieras här som den lägsta mängden DOC i permeatet som kan uppnås oavsett om mängden fällningskemikalie ökas ytterligare.

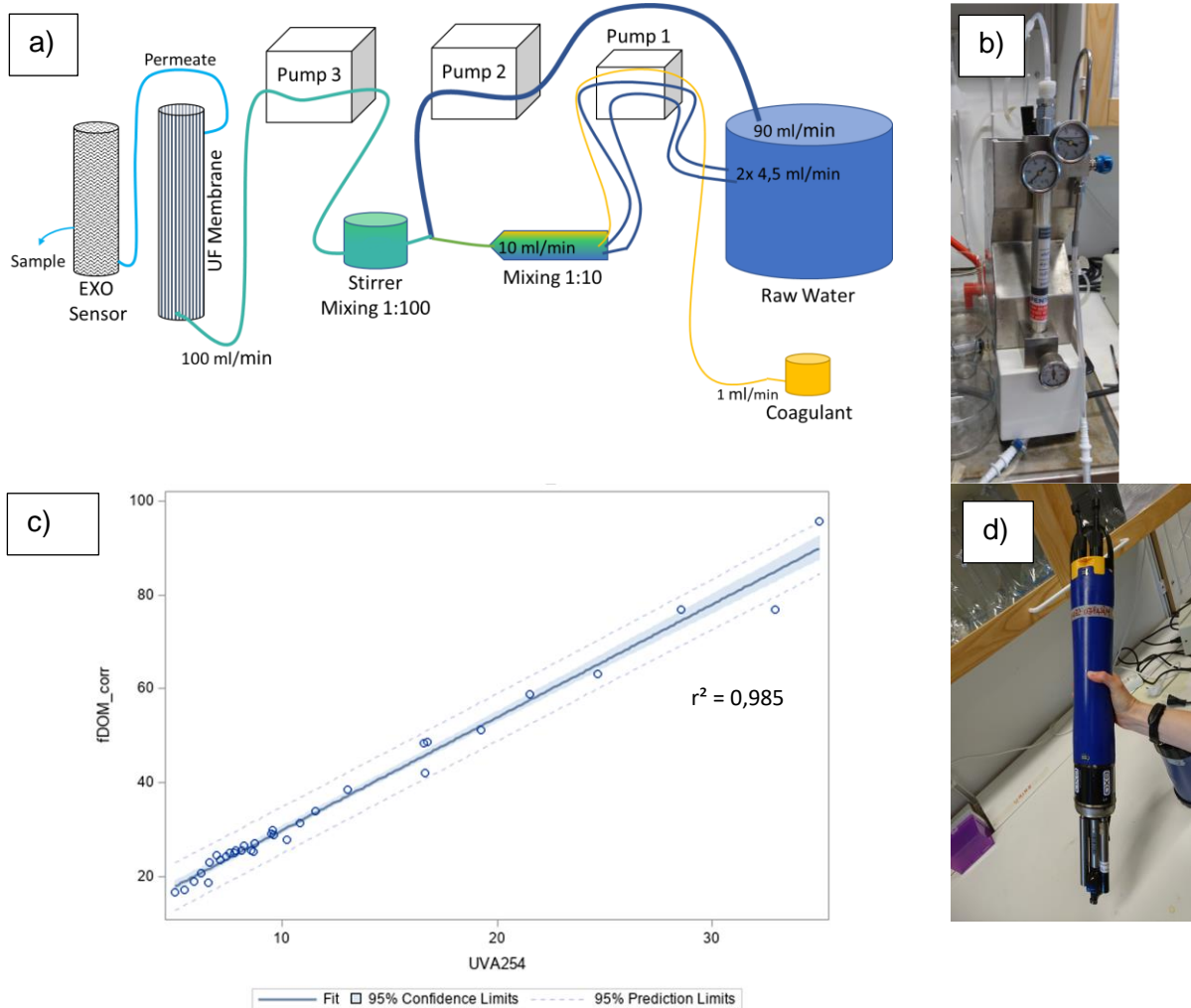
Denna analys bekräftar att UV signalen och därmed även flourescens är en bra signal för bestämning av fraktioner i NOM som kan avskiljas via fällningen. Inkommande UV signal sänks mellan 60-70% beroende på ingående halt HS. Analysen visar också att ca 1,5-2,0 mg L<sup>-1</sup> HS (1500-2000 microg L<sup>-1</sup>) inte kan avlägsnas i den under nuvarande beredningen (se figur nedan).



Figur 7.6: Samband mellan halten HS [microg L<sup>-1</sup>] och UV vid intaget ( $UV_{Intaget}$ ; [m<sup>-1</sup>]). Den blåa vertikala linjen anger utgående UV i dagens beredning (ca 8,5 m<sup>-1</sup>). Den vertikala linjen anger medelhalten av uppmätt HS efter sandfilter under perioden 2013-2019.

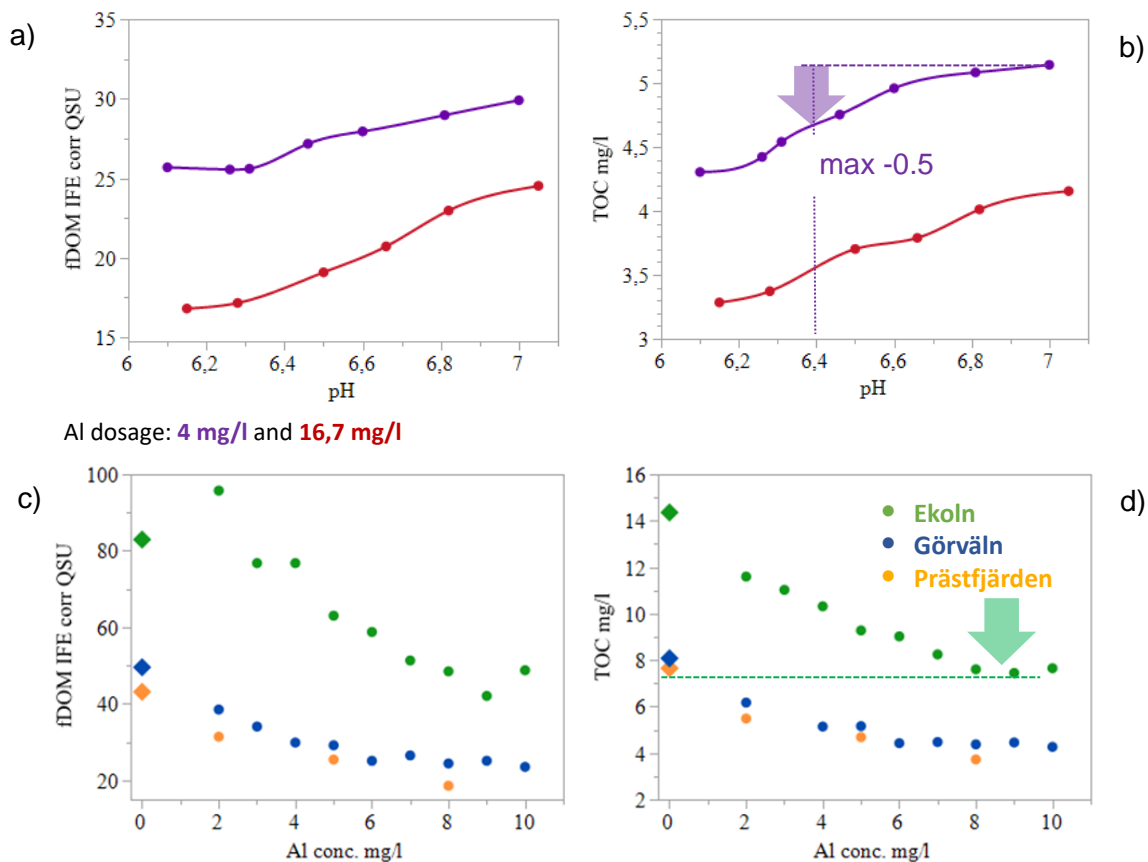
## 6. Försök i labbskala

Under våren 2020 genomfördes experiment i labbskala med en pilot som är uppbyggd på samma princip som UF-piloten. Den lilla piloten kan lätt flyttas och matas med olika typer av vatten. Under ett mastersarbete undersöktes om resultat från pilot i labbskala kan jämföras med resultat från piloten beskriven i den här rapporten. Dessutom utfördes ett större antal mer detaljerade försök för att studera effekt av pH under fällningen samt att testa och jämföra avskiljningen av DOC i olika typer av vatten. Tre olika vatten testades (vatten från Görväln, Prästfjärden och Ekoln). Ett mindre antal försök under neutrala pH förhållanden genomfördes även med järn som fällningsmedel.



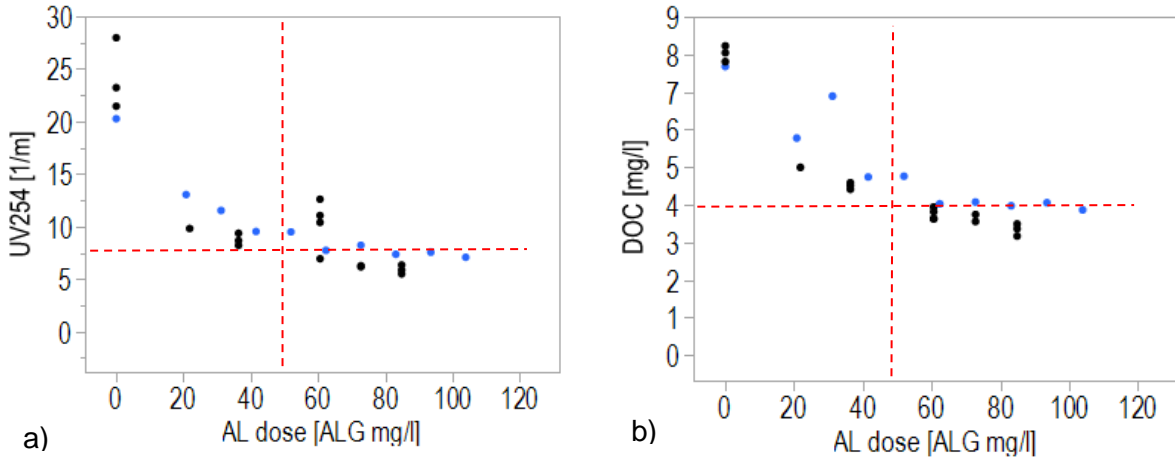
Figur 6.1: Schema av labbskala anläggning (a), foto av membranelement (b), EXO2 sensor (c) och samband mellan UV254 och Fluorescens (d).





Figur 6.2 Resultat för Flourescens [QSU units] (a,c) och TOC (b,d) i permeat efter fällning över UF som funktion av fällningskemikalie (Al mg L<sup>-1</sup>) för ett antal olika pH (a,b) för Görvälsvatten samt vid ett fast pH (pH=7) för tre olika vatten: Ekoln, Görväl och Prästfjärden (c,d).

Experimenten visade att det finns en signifikant pH effekt med avskiljning av DOC för Görvälsvatten (Figur b). Den violetta pilen indikerar att ytterligare ca 0,5 mg/l DOC kan avskiljas om pH sänks från 7 ner till 6,4. Resultaten visar att Prästfjärden och Görvälsvatten reagerade exakt likadant. Detta tolkas som att vatten vid Görväl under provtagningen nästan uteslutande bestod av vatten med samma karaktär som Prästfjärden. Experimenten med Ekolnvatten gav inte den förväntade goda avskiljningen. Under de förhållanden som studerades här kunde bara ca 50% av all TOC avskiljas. Detta bör undersökas vidare. Experimenten med Görvälsvatten indikerar tydligt att det finns en begränsad mängd TOC som kan avskiljas. Mycket stora tillsatser av fällningskemikalie krävdes för att minska halten DOC i permeat till under 3,5 mg L<sup>-1</sup>. Labskale och pilotskaleexperimenten var jämförbara inom 5-10%.



Figur 6.3: Permeatkvalitet med avseende på UV [ $m^{-1}$ ] (a) och DOC [ $mg L^{-1}$ ] (b) för Görvälnvatten. Pilot (●) och Labskalanläggning (●).

## 7. Sammanfattning och förslag till uppföljning

Försök med UF-Piloten på Görvälnverket visar att UF kan vara en möjlig framtida reningsprocess för Görvälnverket. Baserat på all drift- och vattenkvalitets data anses fällning över UF antingen med sandfiltrat (P3.2) eller fällt vatten (P4.2) vara det bästa alternativet för placering av UF. På andra plats rankas direktfällning med råvatten (P2.4) följt av placering efter sandfilter (P3.1). Denna bedömning tar inte hänsyn till ökat behov av strömförbrukning vid användning av UF jämfört med sandfilter. Syntestabellen, figur 7.1, sammanfattar de övergripande resultaten samt ett antal för- och nackdelar med de studerade placeringarna. I kolumnen barriärverkan inkluderas mikrobiell barriärverkan samt avskiljning av alger.

Detaljerade resultat för prestanda som rör flux, tmp och permeabilitet redovisades i tidigare avsnitt i tabell 5.2. Försöken visar att piloten kan driftas med tmp under 0.3 bar och delvis även under 0.2 bar med flux över 70lmh upp till 90lmh. Stabil drift under försök P2.4 och hela perioden därefter var kopplad till permeabilitet över 400. Försöksperioder med små värden för  $dPERM/PERM_{median}$  över tid ge ytterligare indikation på stabil drift.

Vattenkvalitén med avseende på löst organiskt kol och UV som uppnås är minst lika bra som i Görvälnverkets nuvarande reningsprocess. Vissa placeringar av UF i beredningen tillåter en polering av vattnet med ett andra fällningssteg. Fällning innan UF-steget är önskvärt då det skyddar membranet pga. bildandet av ett skyddande lager.

Mängd DOC och UV som kan avskiljas i Görvälns råvatten per aluminium är bättre vid användning av ALG än för PAX-60XL. Möjligen bör ALG även användas i fortsatta försök.

Resultaten indikerar att justering av pH helst ska genomföras med syra eller bas istället för att använda överskott av fällningskemikalie (PAX eller ALG).

Tabell 7.1 Övergripande syntes av pilotförsök. Enheter för permeabilitet (perm) [ $L m^{-1} h^{-1} bar^{-1}$ ] TMP [bar] och flux [lmh].

Process-placering	Drift	NOM	Barriär-verkan*	Membran-prestanda	Fördel	Nackdel
DF-Råvatten P2.1-P2.3	Al	Bra eller bättre än nuvarande	Betydligt bättre	Delvis ostabil drift, låg perm (< 320), hög TMP (> 0.4), låg flux (< 60)	Fällningen kan ske vid högre pH med minskat behov av kemikalier för pH justering för utgående dricksvatten.	Ostabil drift vid fel pH och vid höga doser. Med denna placering förlorar vi en barriär. <sup>#1</sup>
DF-Råvatten P2.4	Al + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Bra eller bättre än nuvarande	Betydligt bättre	Bra perm (>490), låg TMP (< 0.3), acceptabel flux (75)	Stabil drift, minskad slamproduktion. Fällningen kan ske vid högre pH med minskat behov av kemikalier för pH justering i utgående dricksvatten.	Med denna placering förlorar vi en barriär.
Sandfiltrat P3.1	-	Ingen förändring	Betydligt bättre	Delvis ostabil drift, bra perm (> 490), låg TMP (< 0.3), hög flux (>85)	Risk för genombrott avlägsnas vilket möjliggör ökad belastning genom SF vid behov. Denna placering ökar antal barriärer enligt MBA.	Utmaningar med membranfouling vid dålig fällning (biopolymerer) <sup>#2</sup> ,
Sandfiltrat P3.2	Al	Bra eller bättre än nuvarande	Betydligt bättre	Bra perm (>450), låg TMP (< 0.3), hög flux (>85)	Stabil drift, tvåstegsfällning ger större möjligheter för optimering av hela processen. Risk för genombrott avlägsnas. Denna placering ökar antal barriärer enligt MBA. möjliggör ökad belastning genom SF vid behov.	
Fällt vatten P4.1	-	Ingen förändring	Betydligt bättre	Bra perm (>490), lägst TMP (< 0.2), hög flux (>85) inte testad men bedöms vara möjligt	Stabil drift, mindre platsbehov eftersom sandfilter kan tas bort från processen.	I MBA så förlorar vi en barriär. <sup>#1,2</sup>
Fällt vatten P4.2	Al	Bra eller bättre än nuvarande	Betydligt bättre	Bra perm, (>490), låg TMP (< 0.22), hög flux (>85)	Stabil drift, tvåstegsfällning ger större möjligheter för optimering av hela processen. Risk för genombrott avlägsnas.	I MBA förlorar vi en barriär. Utan sandfilter ökar risk för membran skada.

<sup>#1</sup> Det ska läggas till ett mikrofilter i denna konstellation som möjligt skydd för partiklar från föregående processvatten.

<sup>#2</sup> Enligt resultat i Tabell 5.3B så finns det en risk att biopolymerer sätter fast i membranet om UF driftas utan fällning.

Det ska beaktas att

- försöksperioden var ovanligt gynnsam med avseende på halt organiskt kol
- delvis felaktig dosering av hypoklorit har haft stor påverkan på delar av försöksserien
- pilotanläggningens försöksuppsättning inte tillät en automatisk styrning av kemikalie dosering. Manuell utspädning utfördes.
- membranfiltering reagerar på pH värdet, det är rekommenderat att genomföra fler experiment med varierande pH värden. Därmed är det önskvärt att göra fler tester med sandfiltrat och fällt vatten.
- långtidsstudier där stabilitet av olika inställningar följs upp har inte kunnat genomföras. Det är mycket angeläget att experiment med mycket längre stabila förhållanden genomförs för att kunna göra en bättre bedömning av membranprestanda.
- i försöken gick det inte att studera effekten av UF på biostabilitet i utgående vatten

För att kunna utvärdera membranprestanda mera systematiskt förslås kompletterande försök med ultrafilter under längre perioder. Helst ska ett membran utsättas för ett matarvatten under alla årstider (> 12 månader) så att membranet noggrant kan undersökas för förändringar av dess egenskaper och effekt av temperaturförändringar samt att förekomst av biopolymerer och fouling kan undersökas mera noggrant.

Ytterligare rekommendationer för en framtida pilotanläggning:

- pilotanläggningen bör vara utrustad med separata doserpumpar för syra och lut så att mer noggranna försök för pH optimering kan utföras,
- pilotanläggningen ska ha fungerande online-sensorer för detektion av UV så att en automatisk dosering kan genomföras,
- utföra fler systematiska tester där CEB intervall förlängs som möjliggör en längre livslängd på membranet,
- pilotdata laddas ner i sin helhet och behandlas i ett separat program som det gjordes i denna rapport eftersom detta möjliggör en mycket bättre utvärdering av prestanda.

## 9. Litteratur

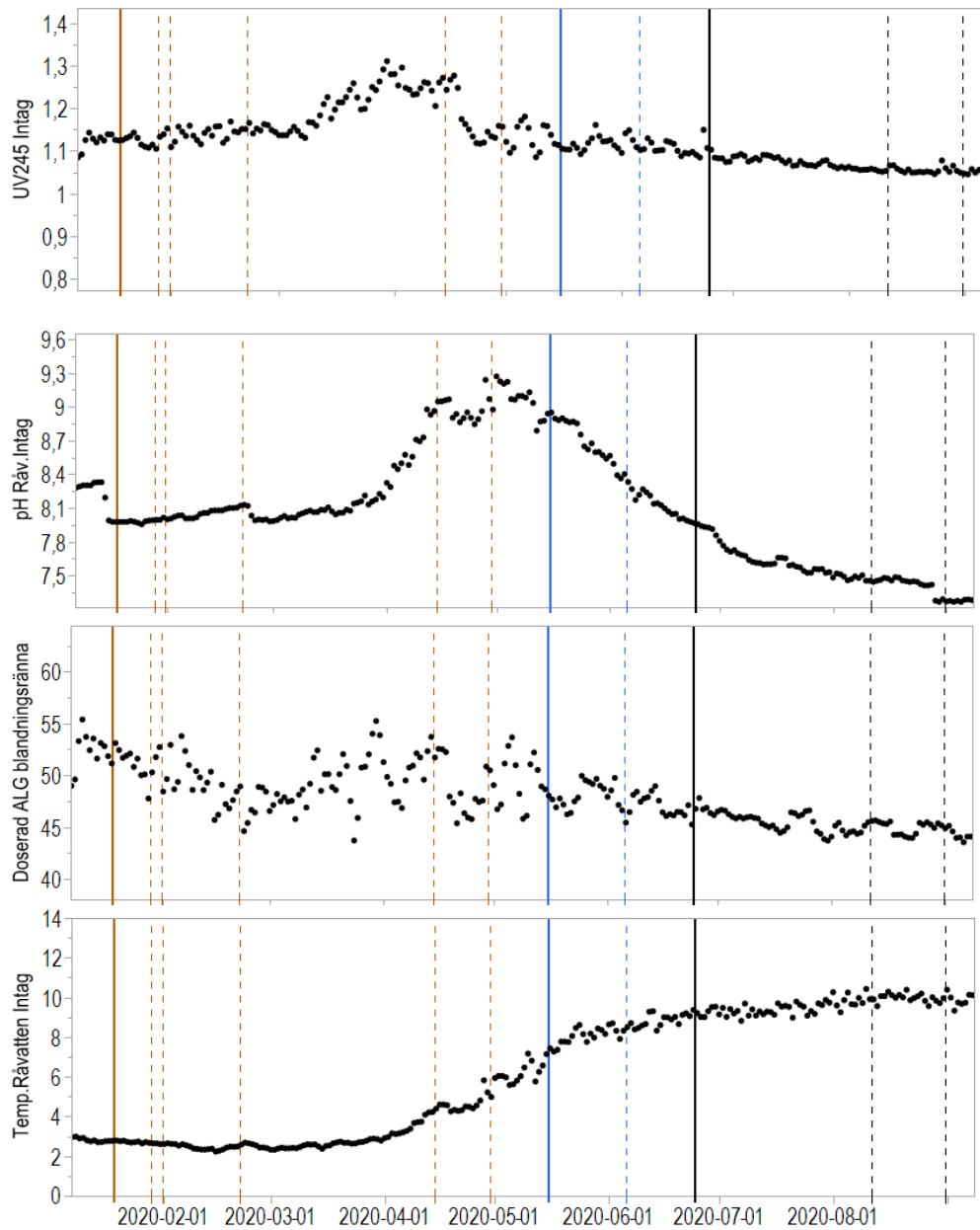
Tamara Voigtländer (2020) Comparison and Optimization of Removal of Natural Organic Carbon from Raw Water with Ultrafiltration in Pilot Scale Experiments. Second cycle, A2E. Uppsala: SLU, Dept. of Aquatic Sciences and Assessment [Mastersarbete vid SLU]. <https://stud.epsilon.slu.se/16156/>

Keucken, A, Heinicke, G, Persson, KM & Köhler, SJ (2017), Combined coagulation and ultrafiltration process to counteract increasing NOM in brown surface water, Water (Switzerland), vol. 9, no. 9, 697. <https://doi.org/10.3390/w9090697>

Dahlberg (2019) Försök med Ultramembranfiltrering vid Görvälverket. Norrvattens framtida dricksvattenproduktion PILOT Försök 2a & 2b. 43 sidor.

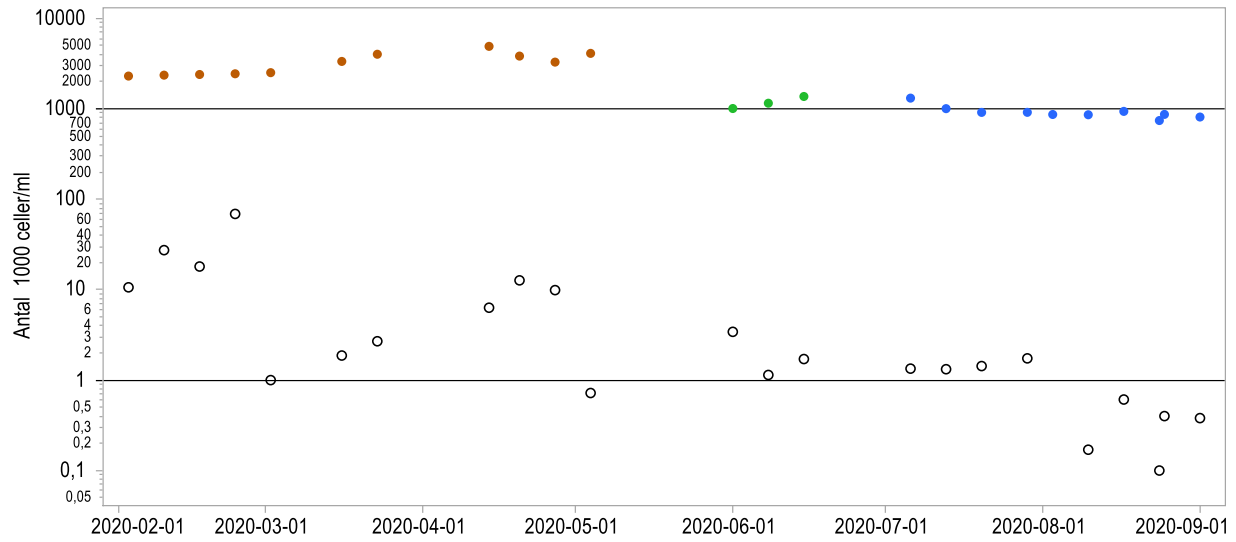
# Appendix

## Råvatten och förhållandena I fullskaleverk



Figur A1: Visar Temperatur, pH UV245 och ALG dosering för råvatten till Görvålverket under försöksperioden.

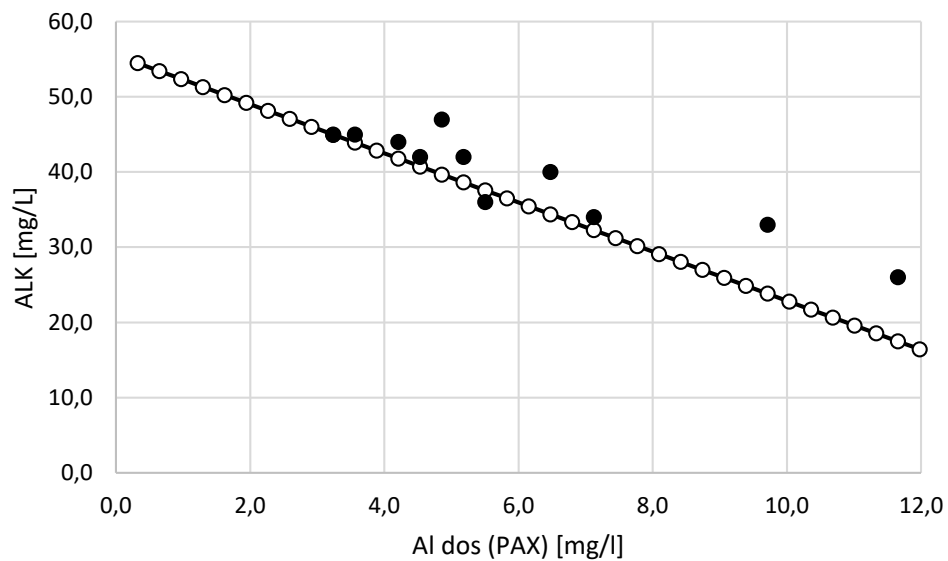
## Resultat från FCM analys



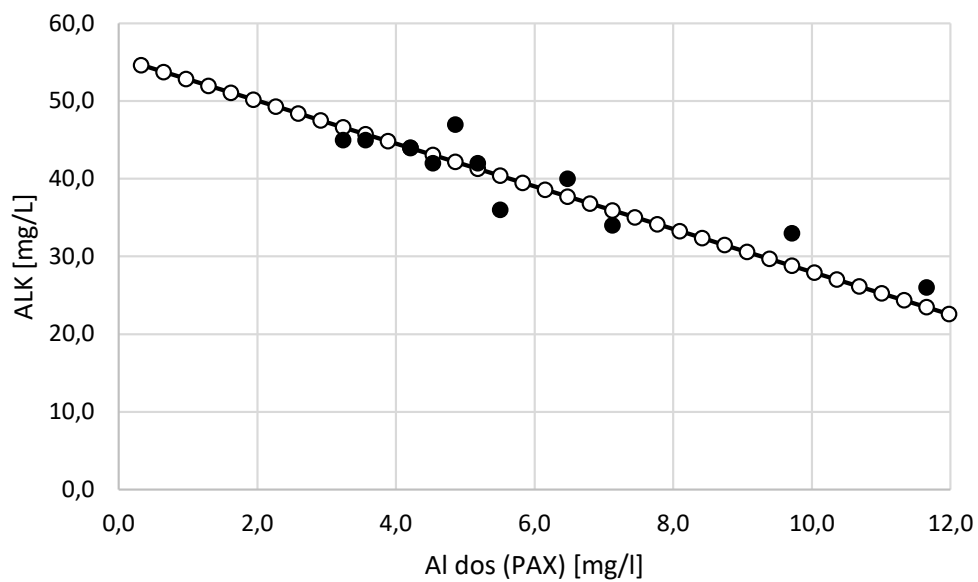
Figur A2: FCM data 2020-03-23 punkt 1. Punkter runt den övre linjen beskriver totalantalceller i feed (• Råvatten, • Flockad vatten och • Sandfiltrat). Punkter runt den nedre linjen beskriver mätvärden av samma parameter för Permeat (o). Fullskale data kan likställas värden för Sandfiltrat. Skillnaden mellan Sandfiltrat och Permeat visar således den ökade barriärverkan efter UF.



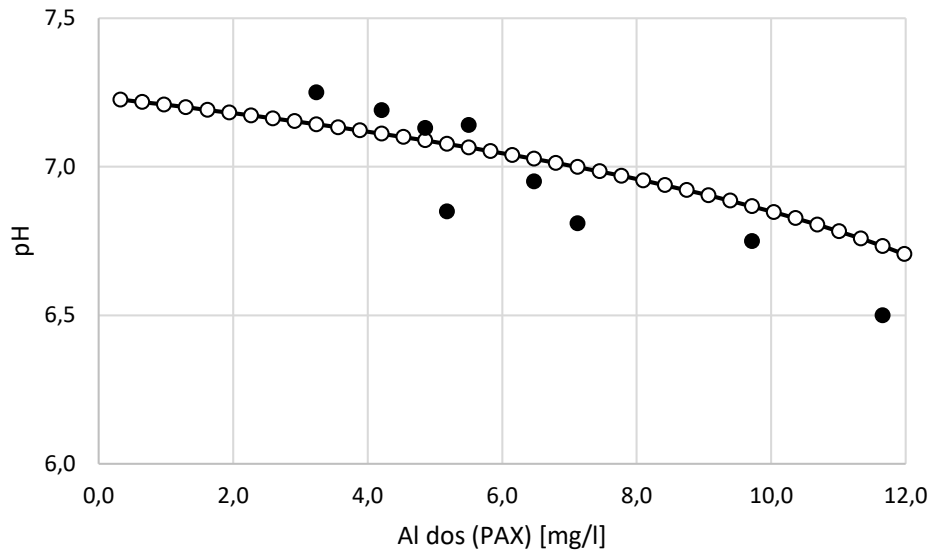
## Resultat från modellering



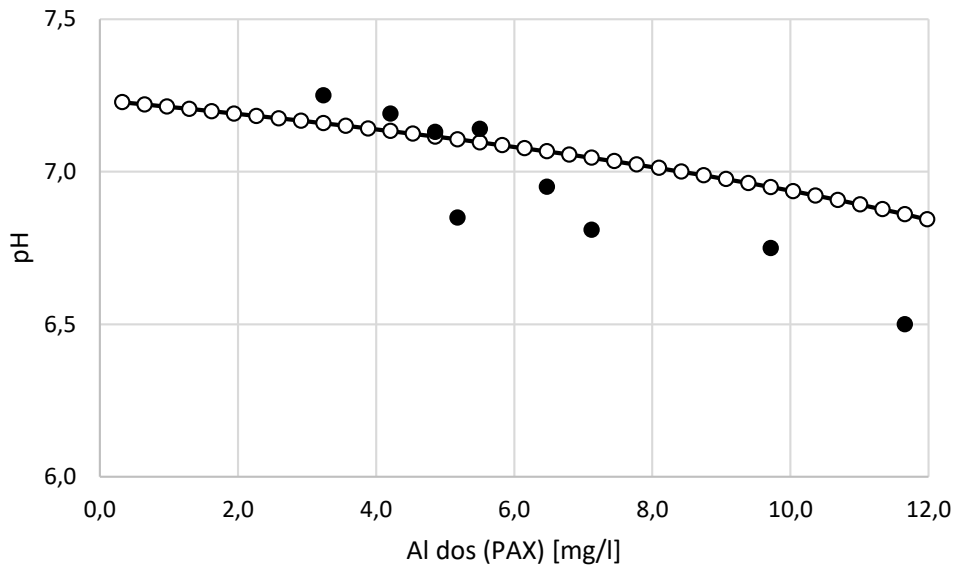
Figur A4: Beräknad förändring av alkalinitet som funktion av tillsatt mg Al i PAX-60XL modell (o) och uppmätt (●) baserad på tillsats av  $Al(OH)_{1.22}Cl_{1.78}$  med en basicitet av 41%.



Figur A5: Beräknad förändring av alkalinitet som funktion av tillsatt mg Al i PAX-60XL modell (o) och uppmätt (●) baserad på tillsats av  $Al(OH)_{1.5}Cl_{1.5}$  med en basicitet av 50%.



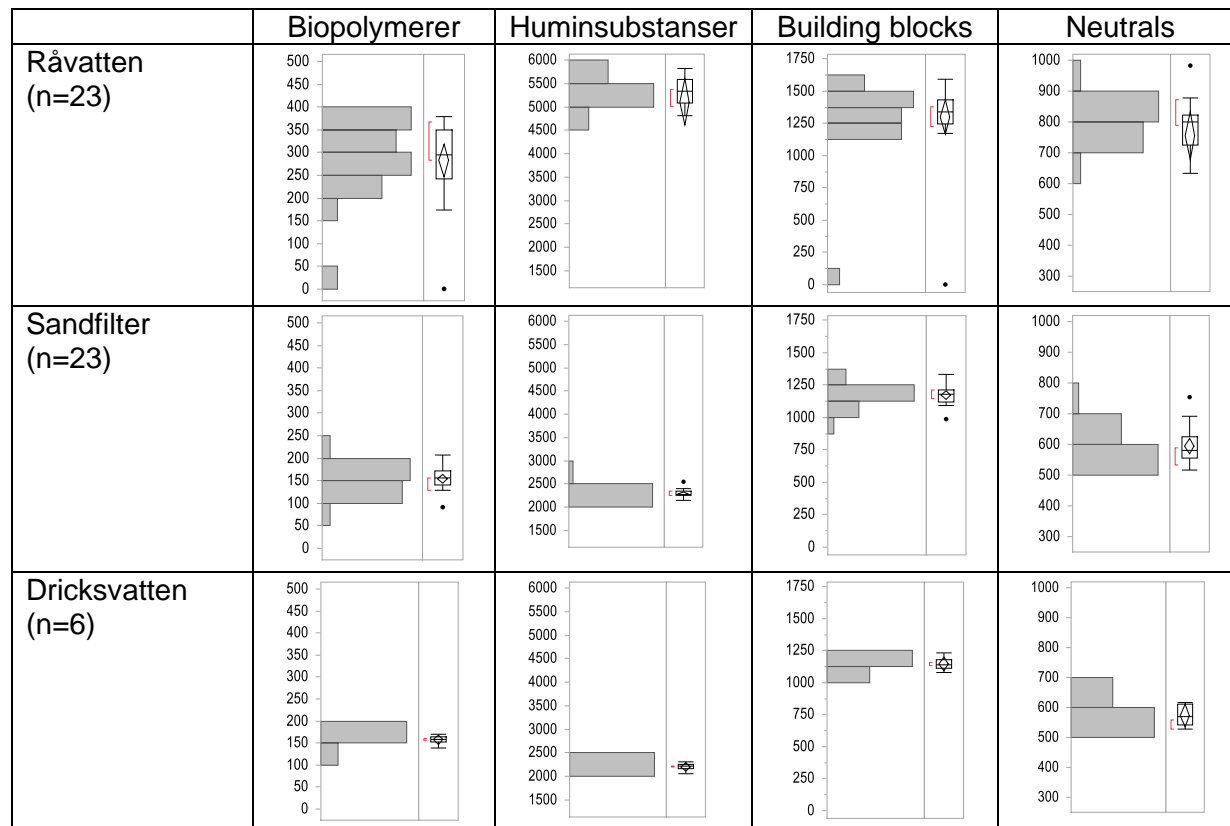
Figur A6: Beräknad förändring av pH som funktion av tillsatt mg Al i PAX-60XL modell (o) och uppmätt (●) baserad på tillsats av  $Al(OH)_{1.22}Cl_{1.78}$  med en basicitet av 41%.



Figur A7: Beräknad förändring av pH som funktion av tillsatt mg Al i PAX-60XL modell (o) och uppmätt (●) baserad på tillsats av  $Al(OH)_{1.5}Cl_{1.5}$  med en basicitet av 50%.

## Översikt av resultat från Mätvärden från LC-OCD

LC-OCD analysresultat för råvatten, sandfiltrat och dricksvatten från görvälverket är sammanställt i figur A8-A9.



Figur A8: Ett stort antal mätningar av LC-OCD för råvatten, sandfiltrat och dricksvatten från Görvälverket.

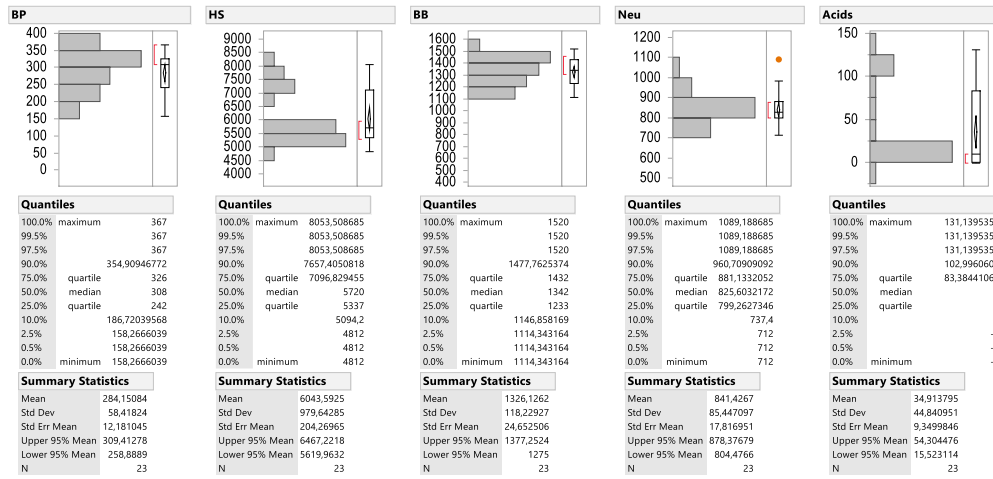
$$\text{Delta HS} = 5,720 - 2,286 = 3.43$$

$$\text{Delta BB} = 1,342 - 1,178 = 0.16$$

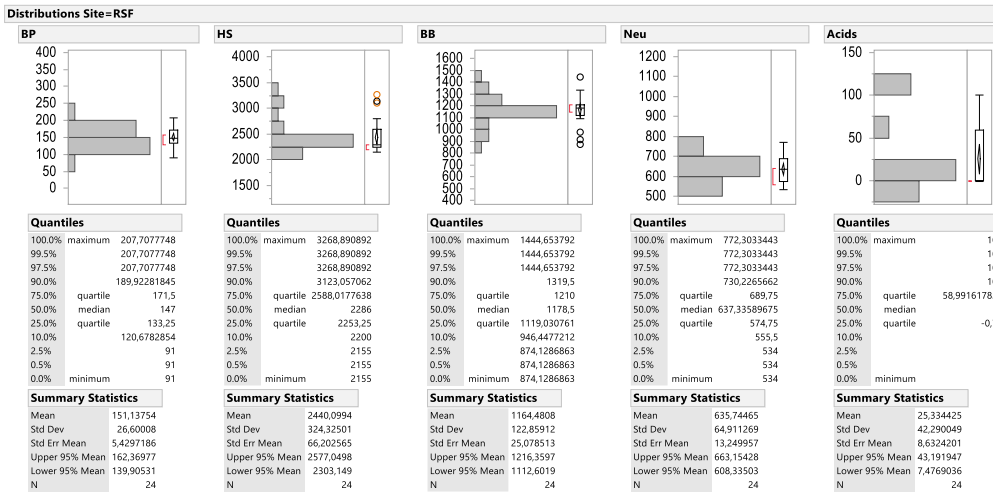
$$\text{DELTA BP} = 0,342 - 0,147 = 0.195$$

$$\text{DELTA TOC} = \text{ca } 3,8$$

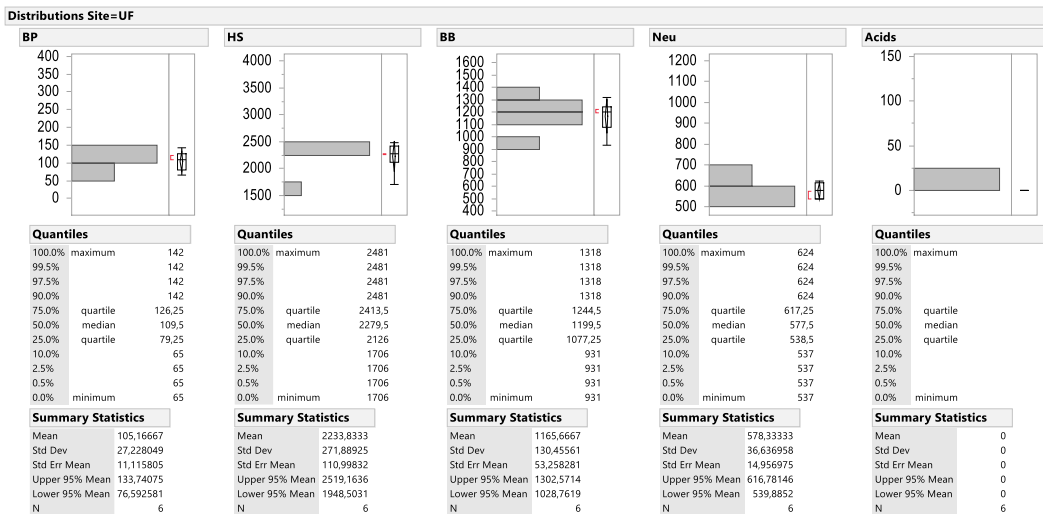
## Rāvatten:



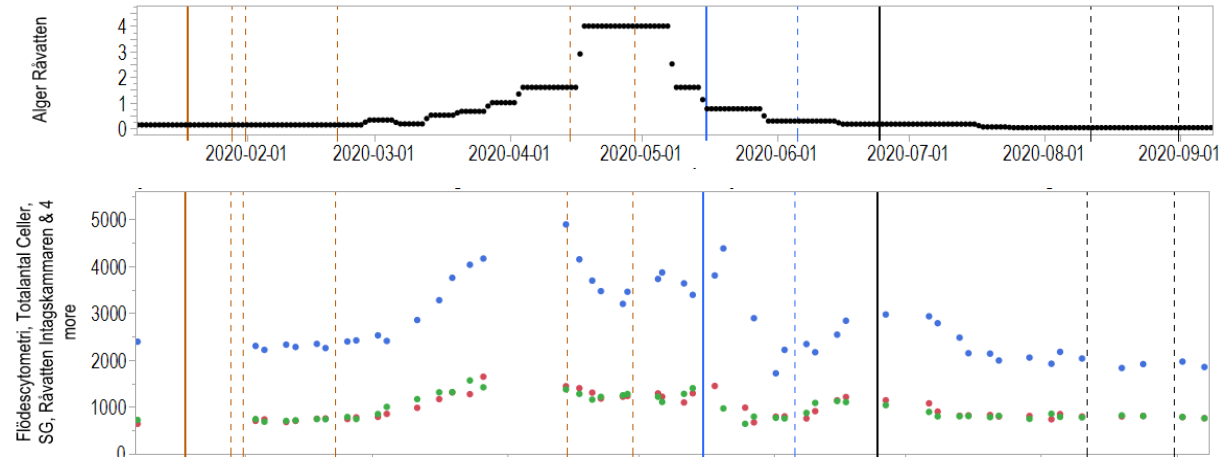
## RSF:



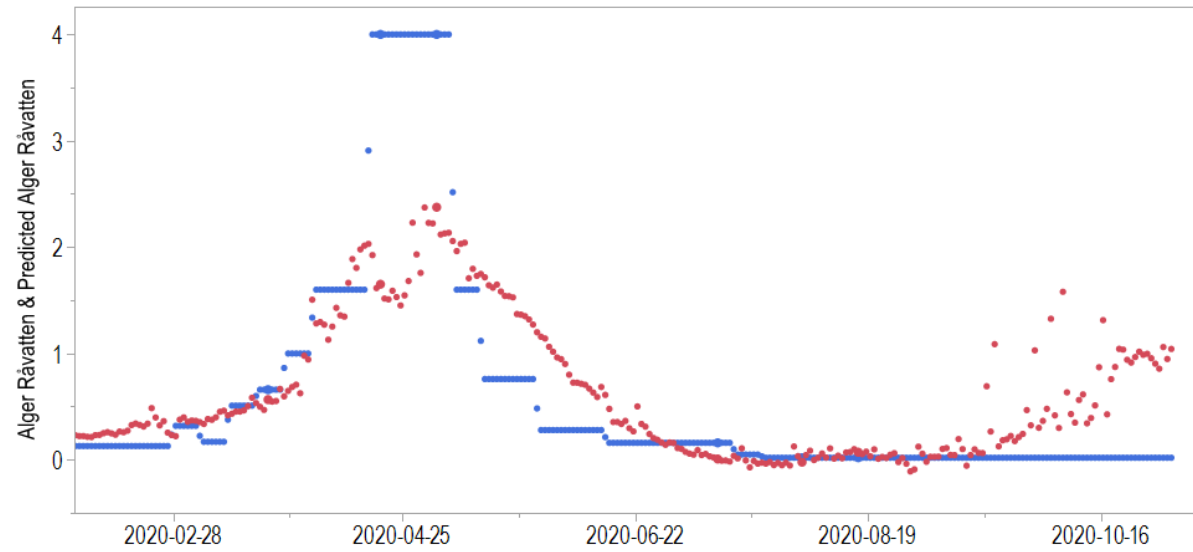
## UF:



## Förekomst av ALGER



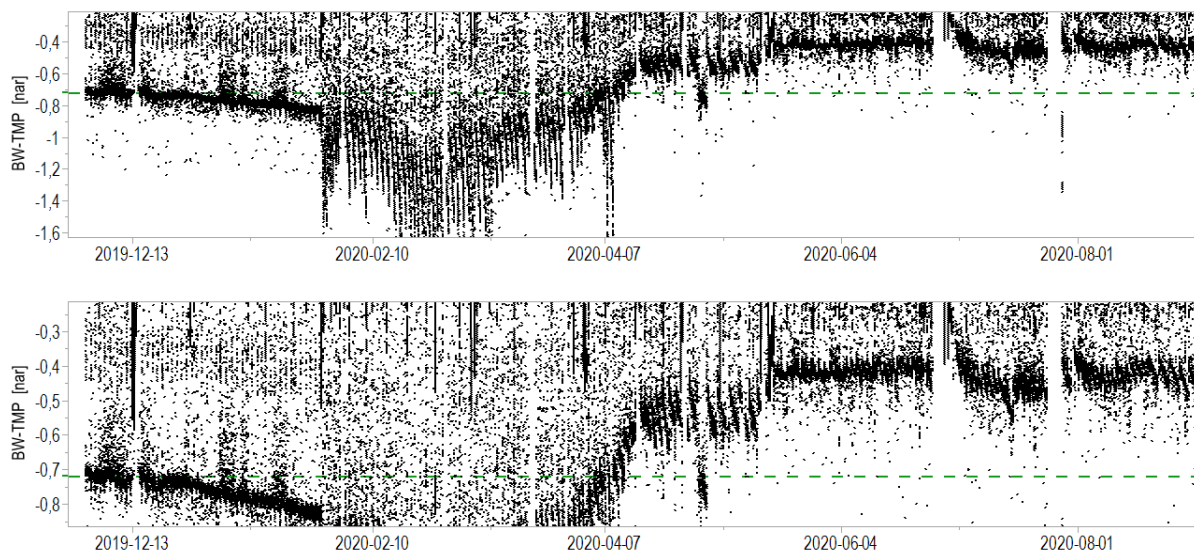
Figur A8: Tidsserie av antal celler (överst) och analyser av totalantalet celler från FCM analys (råvatten blått, sandfilter rött och utgående vatten grönt).



Figur A9: Antal uppmätt alger i råvatten under försöksperioden (●) och (●) modellerad baserad på ett nytt varningssystem som finns tillgängligt i A-curve.

## Backwash TMP

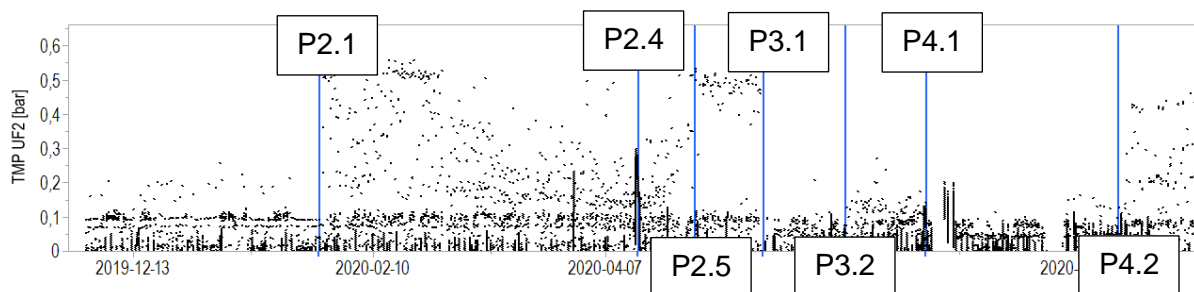
Backwash TMP under hela perioden för två olika skalor.



Figur A10: Backspolnings TMP [bar] under hela försöksperioden med två olika skalor.

Den gröna streckade linjen markerar var backwash TMP låg i början av experimentet (-0,7 bar). Backwash TMP låg stabilt under 0,4 TMP i slutet av försöksperioden vilket innebär att membranet var i bättre skick under de sista försöken.

## UF2 TMP



Figur A11: Tryckupbyggnad [bar] i andra membranet (UF2) under hela försöksperioden.

Trycket över det andra steget (UF2) indikerar perioder med lågt tryck (< 0,2 bar) under perioder där ingen fällning förekom (innan P2.1, P3.1 och P4.1) och högre tryck (upp till 0,6 bar) när direktfällning genomfördes (P2.1-P2.5 samt P3.2 och P4.2). TMP var tidvis högre (> 0,4 bar) under perioden där mikrosilen togs bort (P2.5) samt när sandfilter vatten fälldes (P4.2) men inte när flockat vatten fälldes (P3.2, < 0,25 bar), när man jämför perioder med flux mellan 70-75 l/mh.