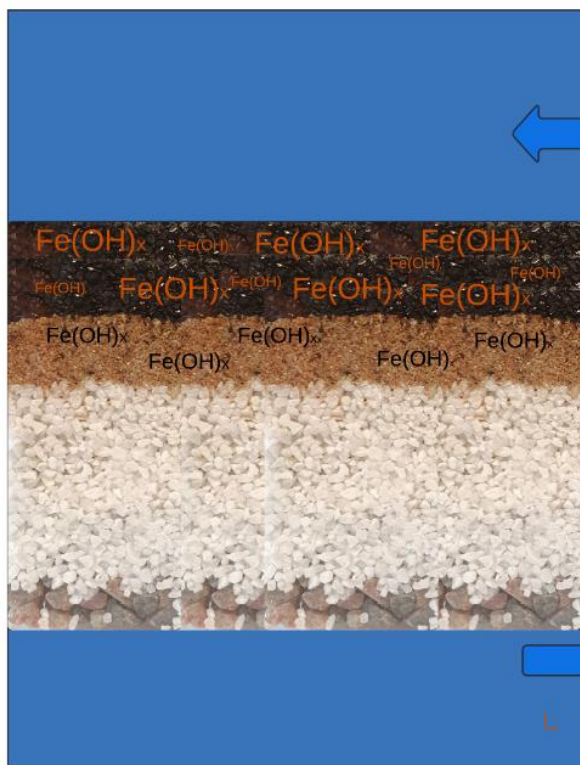
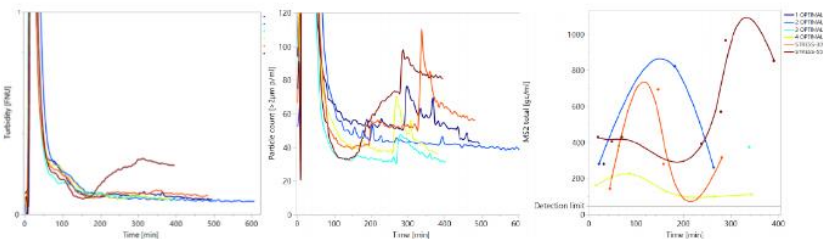




Contact filtration process with 3-M filters



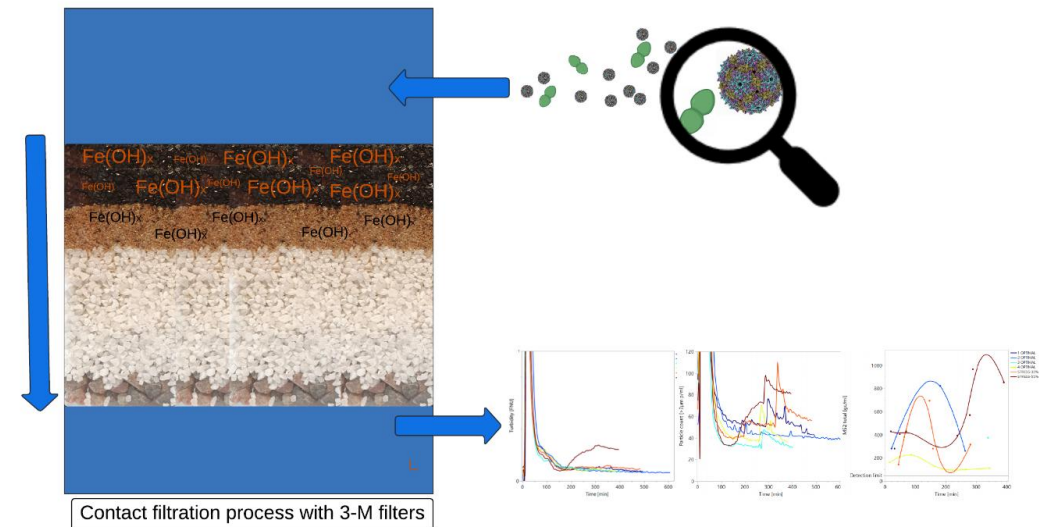
Virusfjerning er mer sårbar enn bakteriefjerning i vannbehandling. Hva betyr dette for vannverkene?

Paula Pellikainen
Optiva

Vannforeningen
Vannforsyning og hygienisk sikkerhet
Oslo 23.02.26

Agenda

- Forskjeller mellom patogene mikroorganismer i vann
- Fjerning med granulær media filtrering (med og uten koagulant)
- Hvorfor er virusfjerning mer sårbar for operativ stress?
- Operativ stress og overvåkning

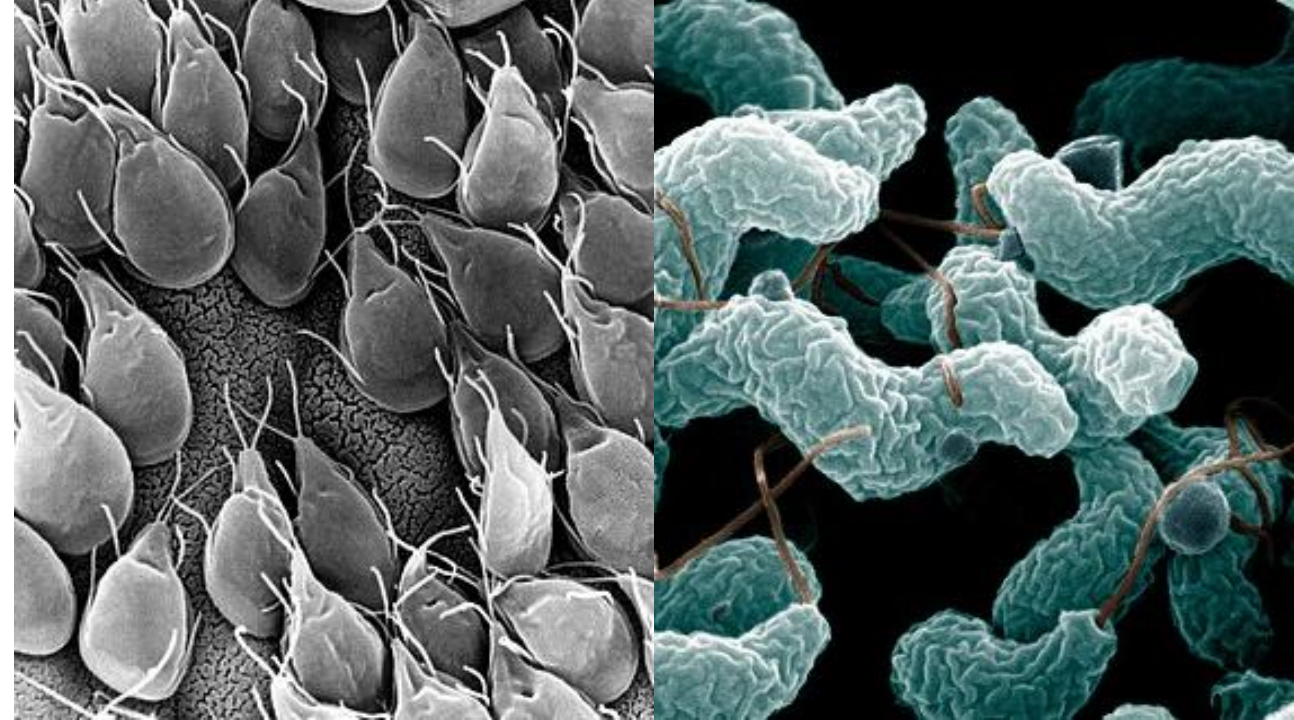


Contact filtration process with 3-M filters

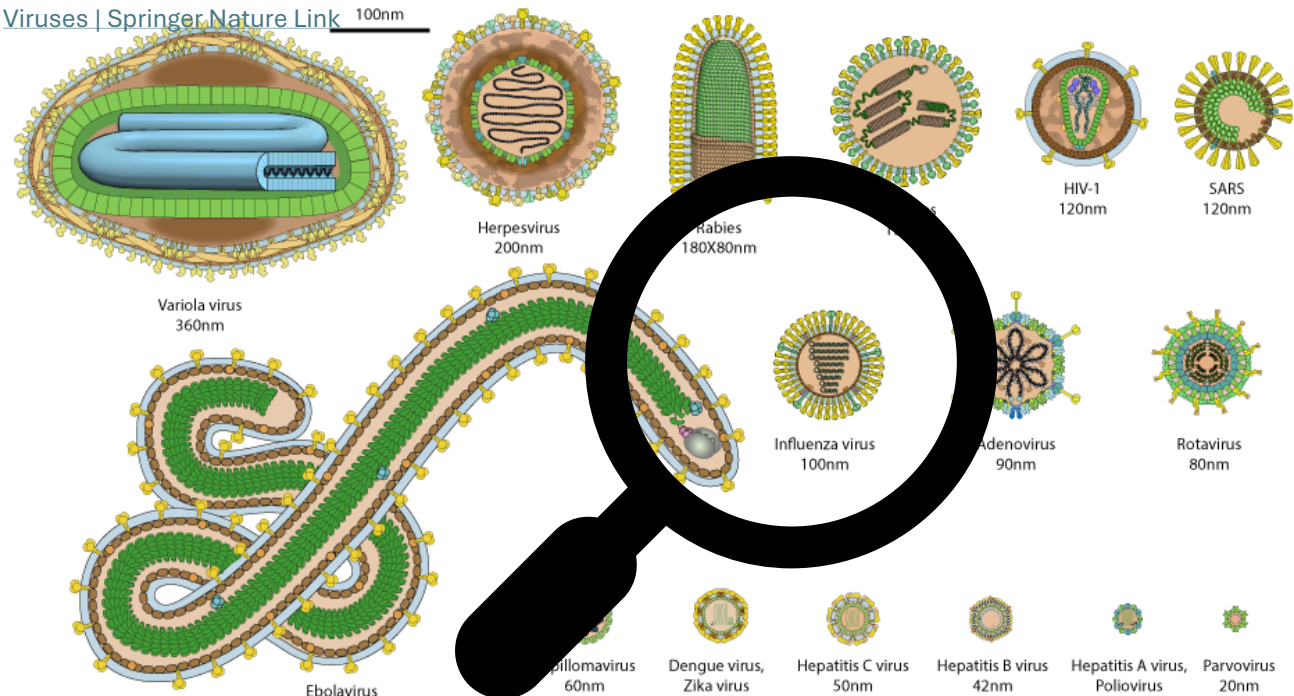
Illustrasjon: P. Pellikainen

Noen forskjeller mellom patogene mikroorganismer i vann

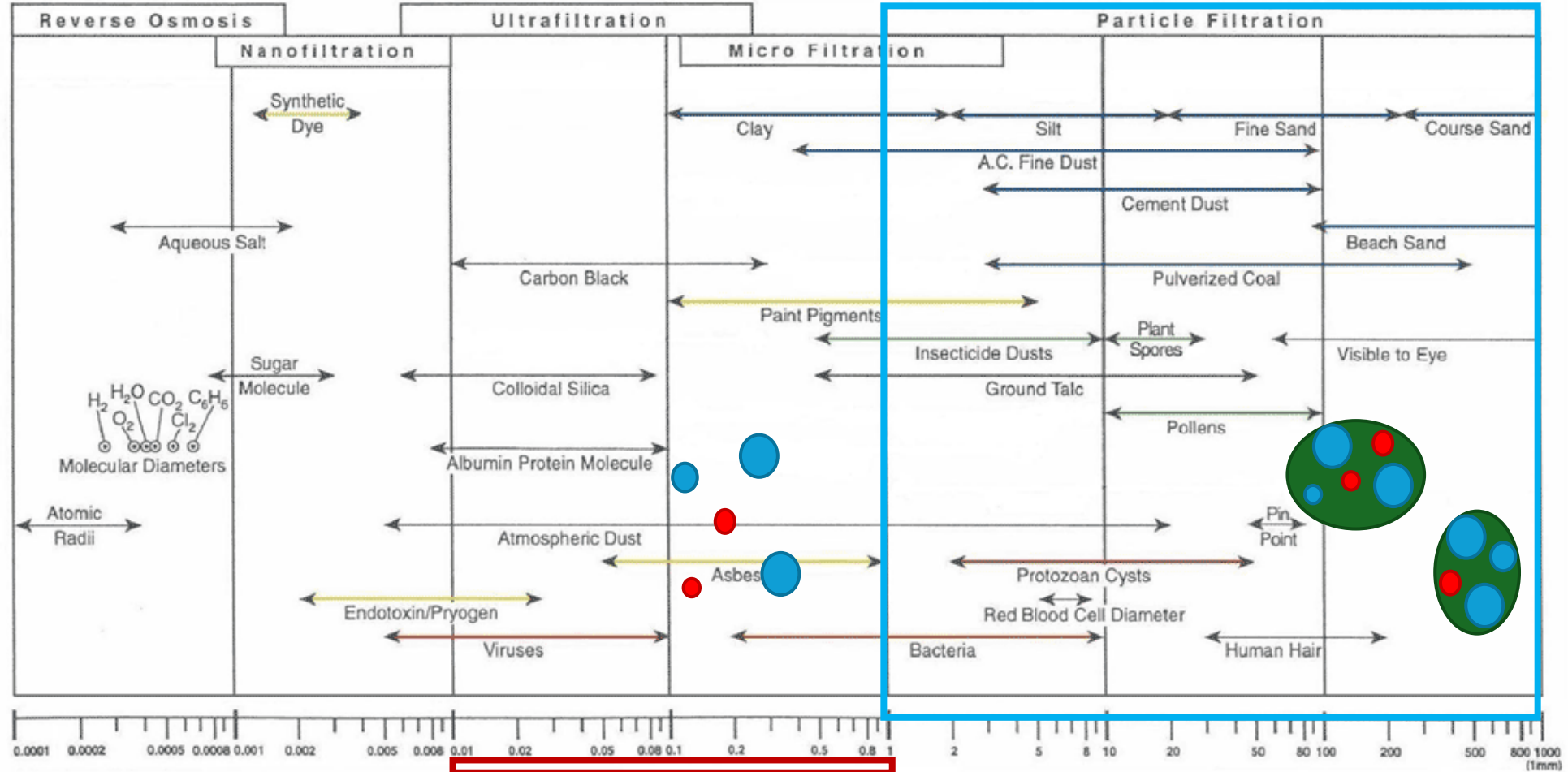
- Bakterier forekommer ofte i høyere konsentrasjoner, siden fekalt materiale kan inneholde opptil 10^{12} bakterier per gram.
 - En person infisert med virus kan ha mellom 10^5 og 10^{13} viruskopier per gram.
- Det finnes forskjeller i MID (minimum infective dose).
 - Risikoen for virus smitte via vann er 10 til 10 000 ganger høyere enn for bakterier, fordi virus har lavere MID.
- Virus og parasitter kan overleve lenger (> 3 måned) i kaldt vann, mens f. eks *E.coli*-bakterier kan overleve fra dager til uker. Det finnes også unntak for lang overlevelse i vann for bakterier og bakteriesporer.
- Virus og parasitter er mer resistente mot desinfeksjon enn bakterier. *E.coli* er veldig sensitiv for desinfeksjon.
- Virus er vanskeligere å fjerne enn parasitter og bakterier.
 - Virus er 50–100 ganger mindre enn bakterier og 300–1 000 ganger mindre enn protozoer, og har andre overflateegenskaper.
- **Vannprøver analyseres ikke rutinemessig for parasitter eller virus. Vannbehandlingen bør sikre god fjerning av både virus og parasitter (og andre patogener), selv om kun indikatorbakterier brukes i rutinemessige analyser.**



Bilder: [Description of Parasites | Academy of Nutritional Medicine](#), [Campylobacter jejuni – Wikipedia](#), [Viruses | Springer Nature Link](#)



Water Filtration Types vs. Size of Common Contaminants



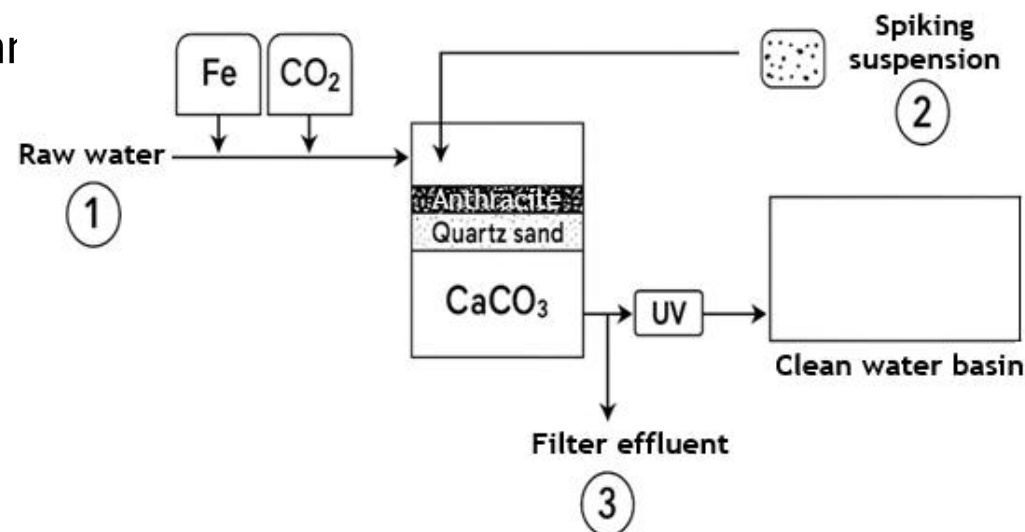
Typical water contaminants grouped by color

PARTICAL SIZE in MICRONS

Pilot- og fullskala testing for virusfjerning under Norske forhold

(del av BARRiNOR) Norsk Vann rapport 289/2024 Vannbehandlingsbarrierer, vannverkslar returstrømmer

- IVAR og Unni Lea har utført spikingforsøk med bakteriene *E. faecium* og *E.coli* i tillegg til MS2-virus til kalkfilter, og Filtralite-filter brukt i ozon-biofilteringsprosess
- Svartediket VBA har utført forsøk med spiking av MS2-virus og *E. faecium* til koagulering-kontaktfiltrering
 - Stressende operative forhold ble testet
 - Avansert vannkvalitetsmåling ble utført samtidig



Illustrasjon: P. Pellikainen et al. 2025

Fjerning med granular media filtrering

- IVAR pilot har to filtertrinn i serie alkalisk filter og biofilter (Filtralite):
- Fjerning av *E.coli*-bakterier var ca. 0,4-0,8 log
- Fjerning av *E. faecium*-bakterier var ca. 0,4-0,95 log
- Fjerning av MS2-virus var ca. 0,2 log

Tabell 6.7 Log-reduksjon for *E. coli* (ATCC25922) i pilot ved Langevatn vba for nyspylt filter og etter 1 og 3 ukers driftstid. Log-reduksjonen over alkalisk- og biofilter er beregnet ut fra verdien inn og ut av hvert filter. Ulikt antall paralleller gjør at summen over alkalisk filter og biofilter ikke alltid er helt lik det som ble målt totalt i pilot..

	Nyspylte filter	1 uke	3 uker
Alkalisk filter	0,18	0,30	0,77
Biofilter	0,48	0,77	1,08
Totalt i pilot	0,55	1,07	1,82

Tabell 6.8 Log-reduksjon for *E. faecium* (NCIB 2699) i pilot ved Langevatn vba for nyspylt filter og etter 1 og 3 ukers driftstid. Log-reduksjonen over alkalisk- og biofilter er beregnet ut fra verdien inn og ut av hvert filter. Ulikt antall paralleller gjør at summen over alkalisk filter og biofilter ikke alltid er helt lik det som ble målt totalt i pilot.

	Nyspylte filter	1 uke	3 uker
Alkalisk filter	0,19	0,32	0,65
Biofilter	0,50	0,96	1,39
Totalt i pilot	0,68	1,29	2,06

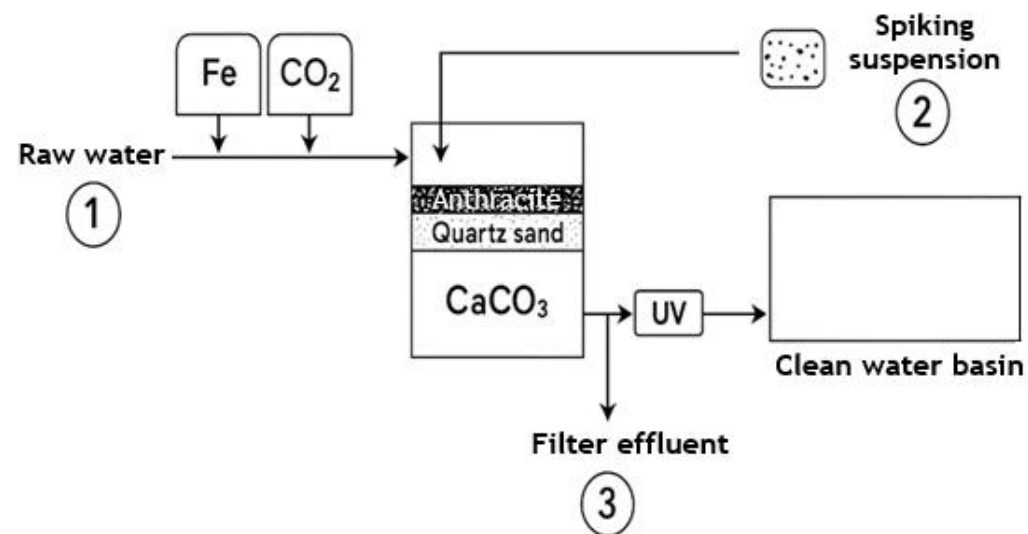
Tabell 6.9 Log-reduksjon for MS2 i pilot ved Langevatn vba for nyspylt filter og etter 1 og 3 ukers driftstid. Log-reduksjonen over alkalisk- og biofilter er beregnet ut fra verdien inn og ut av hvert filter. Ulikt antall paralleller gjør at summen over alkalisk filter og biofilter ikke alltid er helt lik det som ble målt totalt i pilot.

	Nyspylte filter	1 uke	3 uker
Alkalisk filter	0,25	0,11	0,24
Biofilter	0,38	0,02	0,23
Totalt i pilot	0,53	0,13	0,87

Tabell utklipp: Norsk Vann rapport 289/2024 Vannbehandlingsbarrierer, vannverkslam og returstrømmer

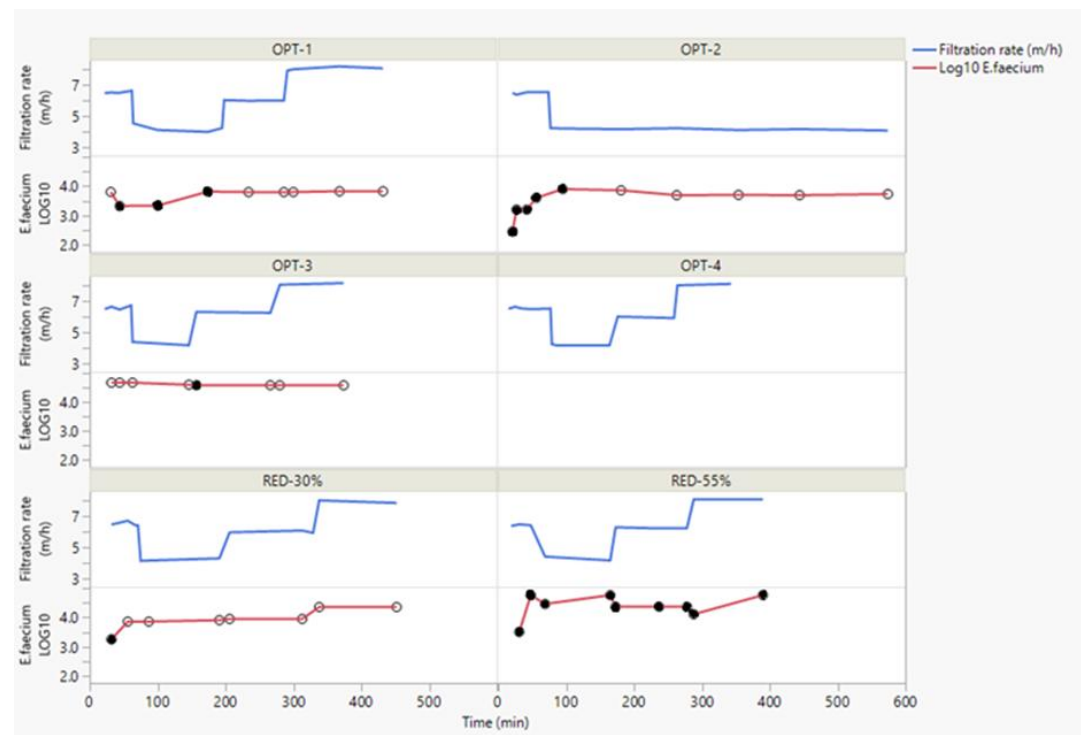
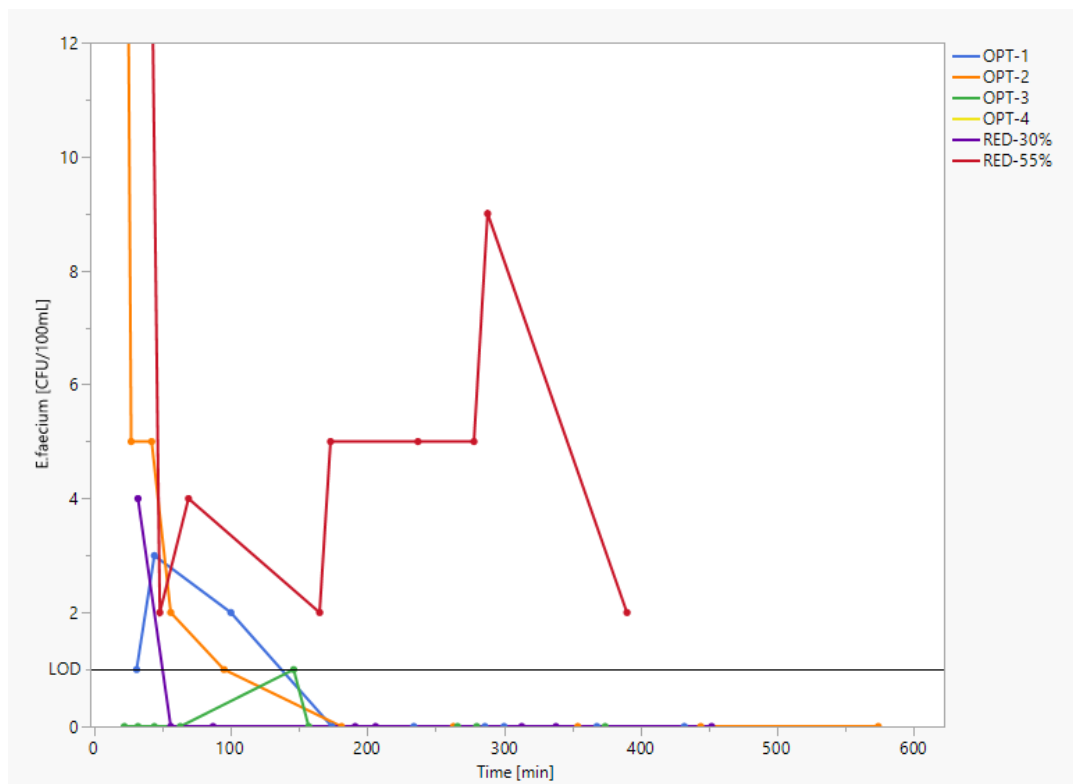
Fullskalaforsøk på Svartediket VBA

- Koagulantdose redusert med 30 % og 55 % fra optimalisert nivå
- Økt filtreringshastighet 2 m/h to ganger i løpet av filtersyklus 4 m/h-6m/h-8m/h (vanlig i fullskaladrift ved ikke-optimalisert hydraulisk kontroll)
- Kartlagt vannkvalitetsmålere for overvåking av redusert mikrobiologisk kvalitet



E. Faecium bakterier

- Tilstede i modningsvann
- Økning i filtrert vann ved betydelig redusert koagulantdose, økende trend med økende filtreringshastighet
- Over 4-log fjerning også under betydelig redusert koagulantdosering



Figurer P. Pellikainen og Norsk Vann rapport 289/2024

MS2 virus

- Log-reduksjonen totalt for MS2 reduseres betydelig ved brå endringer i filtreringshastighet og er vesentlig lavere under suboptimale koagulasjonsforhold.
- Log-reduksjonen faller med omtrent 2 log-enheter ved økning i filtreringshastighet, selv under optimal koagulering.
- Ved suboptimal koagulantdose (55 % reduksjon i dose) holdt virusets log-reduksjon seg lav.
- Vannbehandlingsanlegg bør minimere omfanget og variasjonen i endringer i filtreringshastighet for å sikre stabilitet i barrierene.

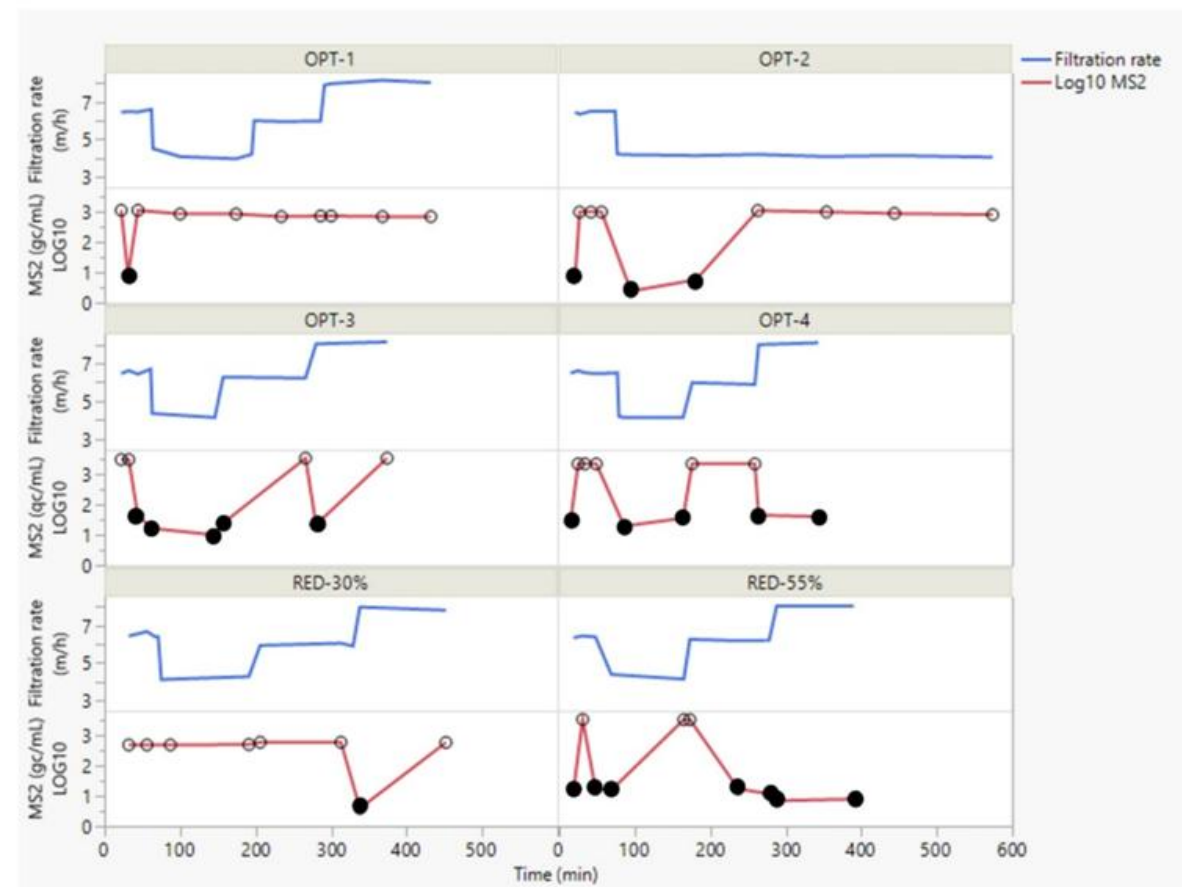
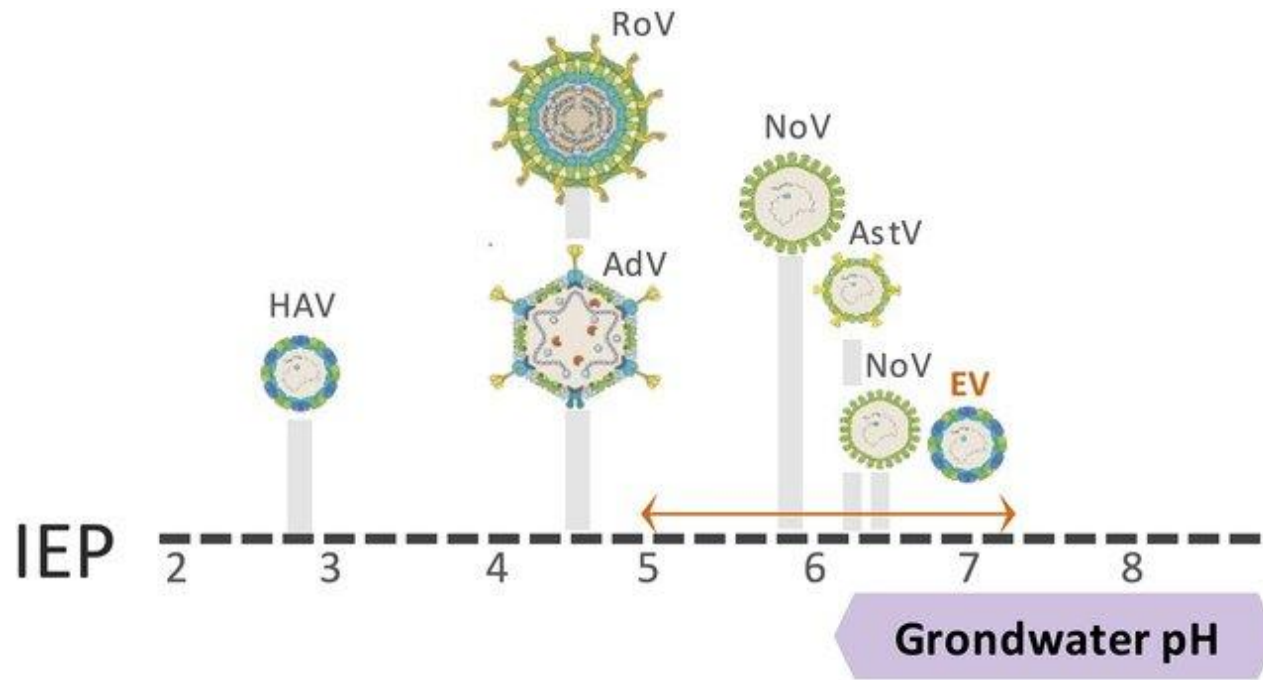


Fig. 6. Log removals of total MS2 throughout the filter run with changes in filtration rate. For samples with negative values, LOD is used for log removal calculations. All data points marked with an open circle are calculated from LOD and are the minimally achieved log removal.



Figur: Rusinol 2023. Waterborne viruses in urban groundwater environments

Svakere fjerning av virus med
koagulering-filtrering
- forskjeller i bindekrefter?

- **Point of Zero Charge (PZC, eller Isoelectric Point (IEP) for virus) – nullpunkt for ladning** – er den pH-verdien hvor en overflate har netto elektrisk ladning lik null.
- **Elektrostatisk krefter styrer bindingen:**
 - Økende negativ overflateladning (lavere IOP eller PZC) → sterkere bindekraft til positivt ladede jernhydroksider ($\text{Fe}(\text{OH})_3$).
- **NOM og bakterier**
 - Lavt nullpunkt for ladning ($\text{pH}_{\text{PZC/IEP}}$ 2,5-3).
 - Gir sterk elektrostatisk binding til jernhydroksider.
 - Lignende PZC for NOM og bakterier → lik fjerningsmekanisme.
- **Virus:**
 - Generelt mindre negativ ladning ved IEP
 - Eksempel: MS2 ($\text{pH}_{\text{IEP}} \approx 3,9$).
 - Svakere binding til jernhydroksider → større risiko for løsrivelse ved:
 - Økt filtreringshastighet
 - Høyere filtreringshastighet
- **Isoelektriske punkt (IEP) for humane patogene virus:**
 - Enterovirus / Norovirus: 5–7
 - Adenovirus: 3,5–4,5
 - Hepatitt A-virus: 2,8–3,5

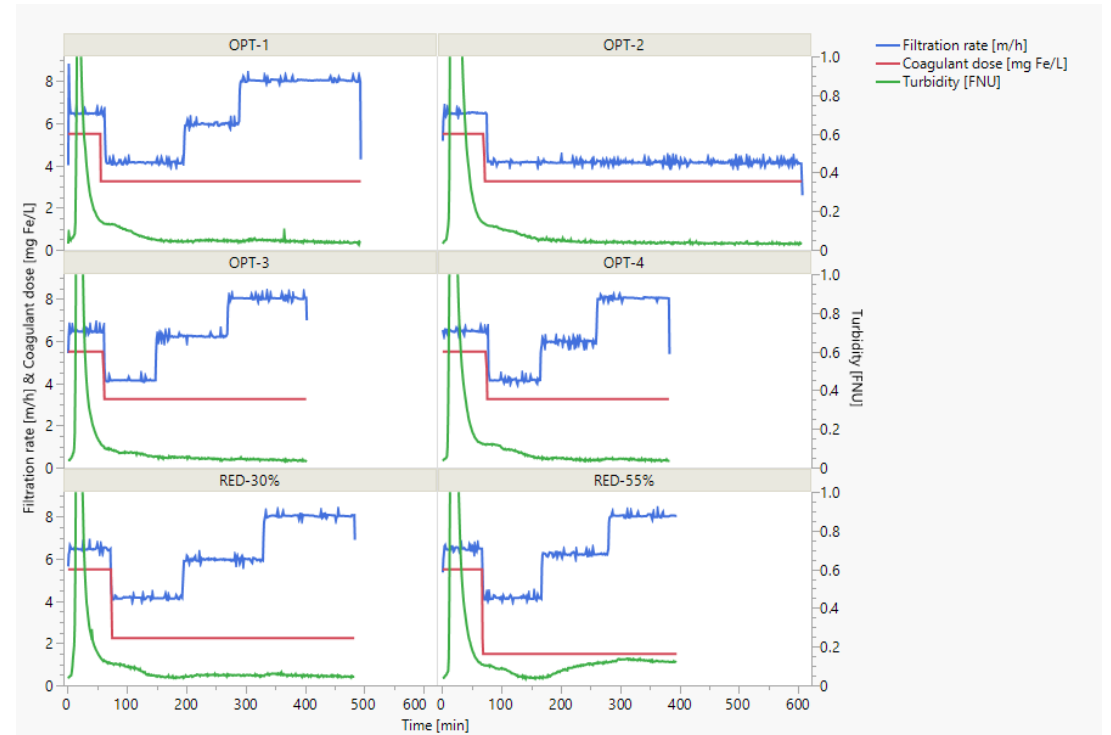
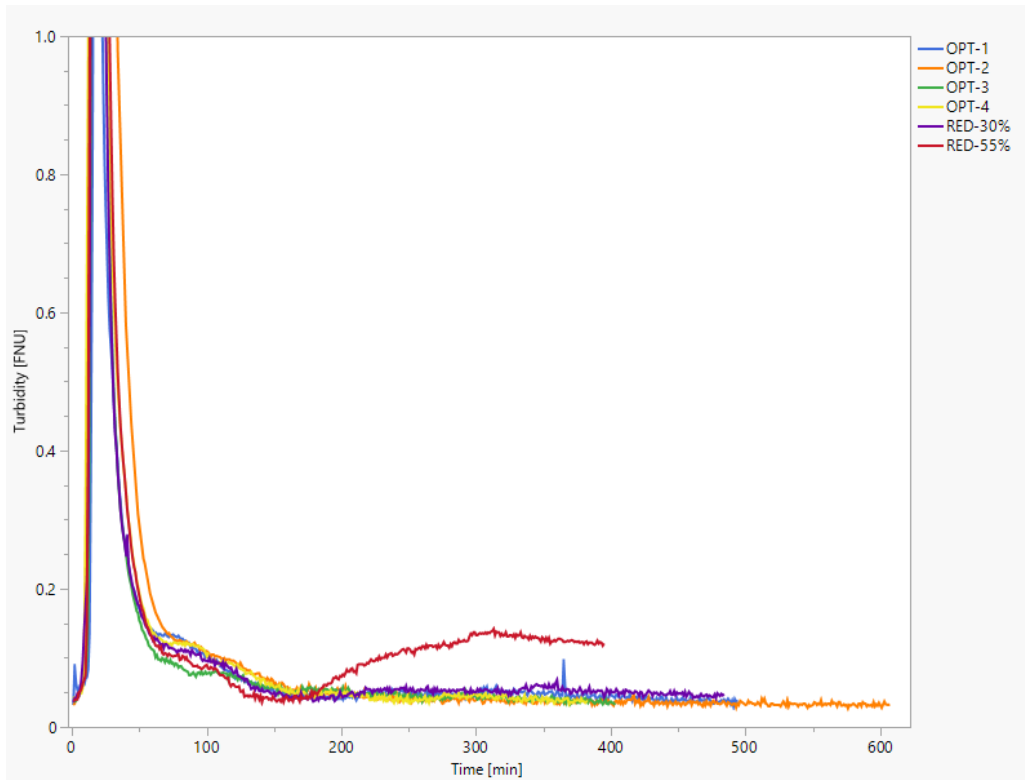
Online-overvåkning

- Fokus på normale driftsområder og avvik fra disse, ikke kun anbefalinger fra Mattilsynet
- Kombiner ulike målere med ulike prinsipper (f.eks. turbiditet og UV-absorbans)
- Avvikende verdier må kommuniseres raskt, slik at korrigerende tiltak kan iverksettes før vannkvaliteten reduseres
- Viktige egenskaper for online-målere:
 - Deteksjonsgrense
 - Kontinuitet (online/semi-online)
 - Brukervennlighet
 - Kalibrering



Turbiditet

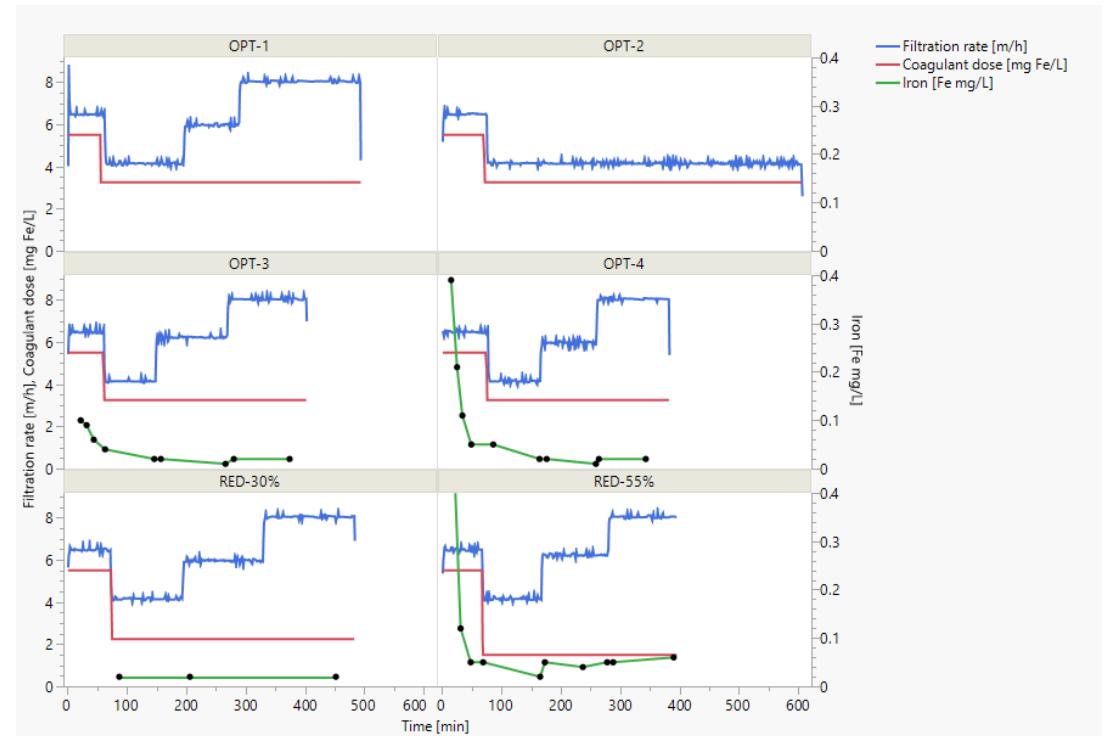
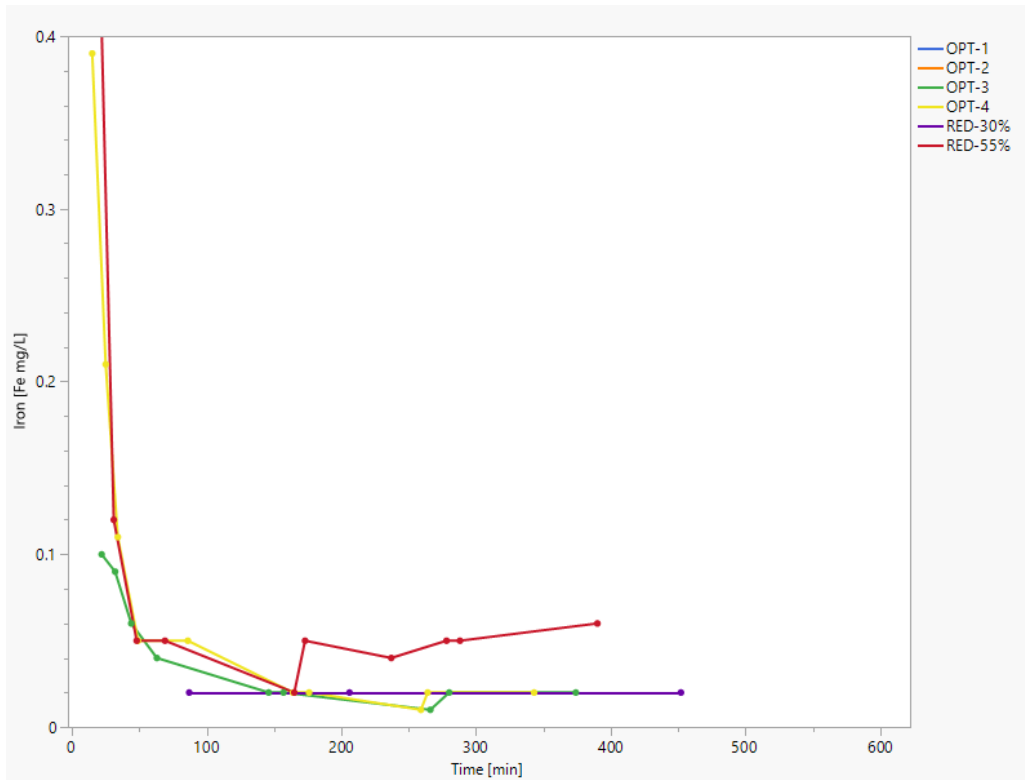
- Redusert til tross for at turbiditet lå innenfor Mattilsynets anbefaling for koaguleringsfiltrering (0.2 FNU)
- Turbiditet reagerte først når prosessen var betydelig redusert



Figurer P. Pellikainen

Jernrest

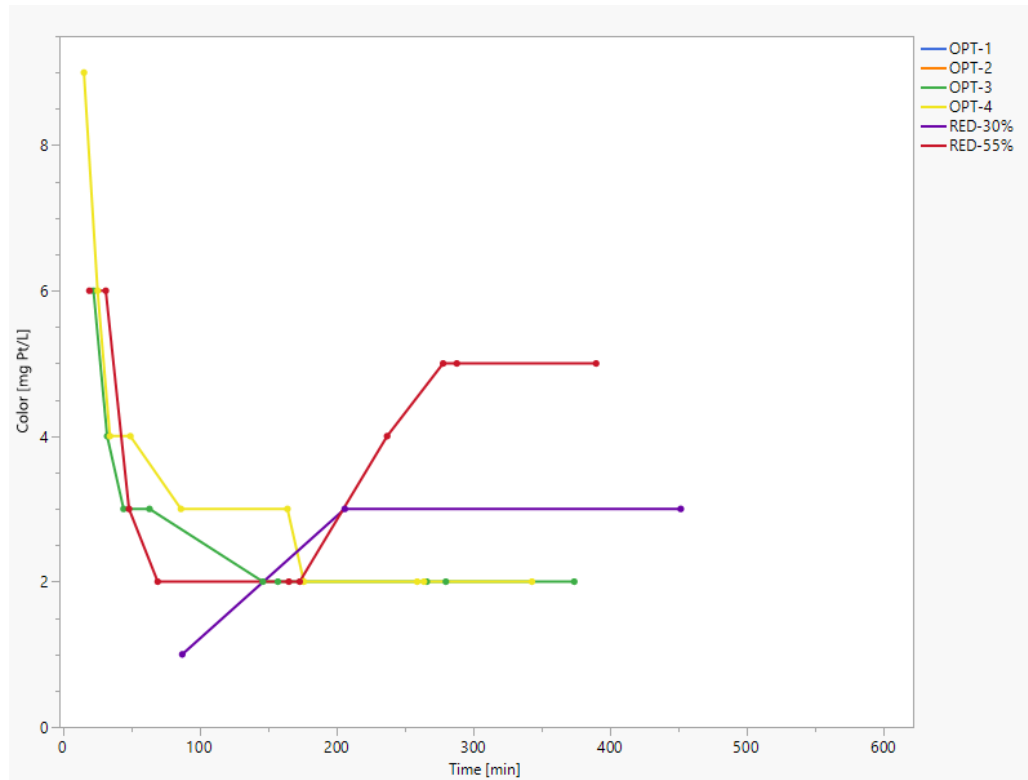
- Jernrest begynte å øke ved redusert koagulantdose, men selv om den mikrobiologiske kvaliteten var redusert, lå jernrest fortsatt under Mattilsynets anbefaling 0.15 mg Fe/l.



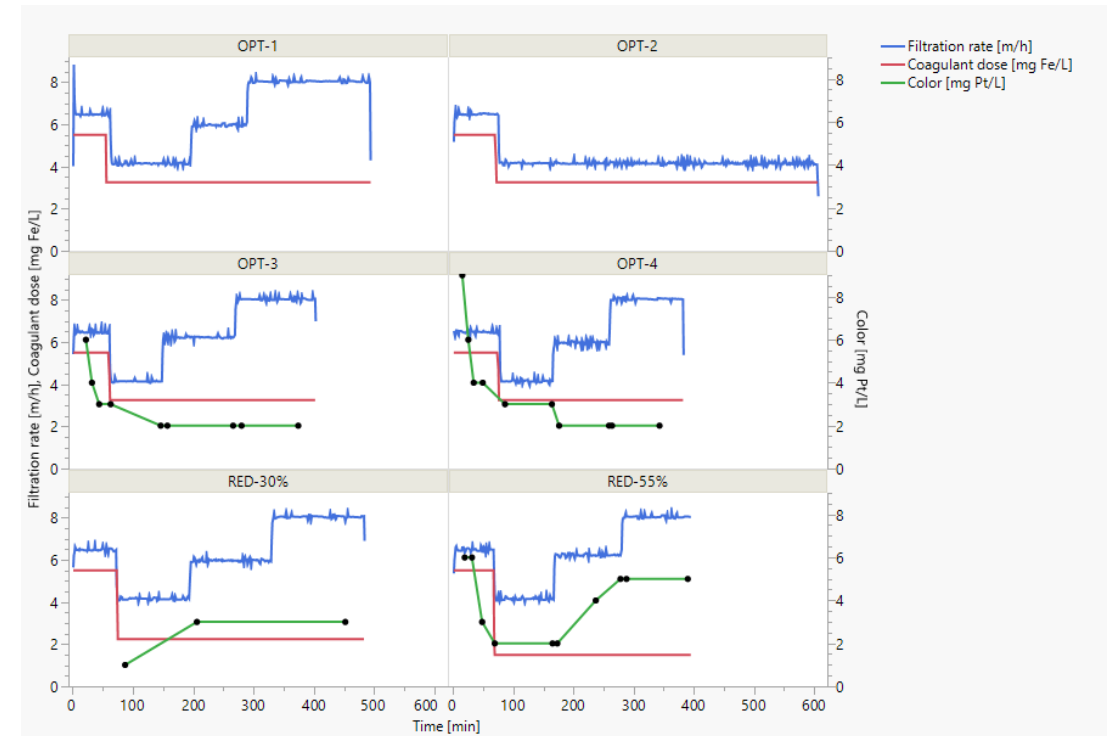
Figurer P. Pellikainen

Fargetall

- Fargetallet begynte å øke ved redusert koagulantdose, men selv om den mikrobiologiske kvaliteten var redusert, lå fargetallet fortsatt nær Mattilsynets anbefaling (<5 mg Pt/l).

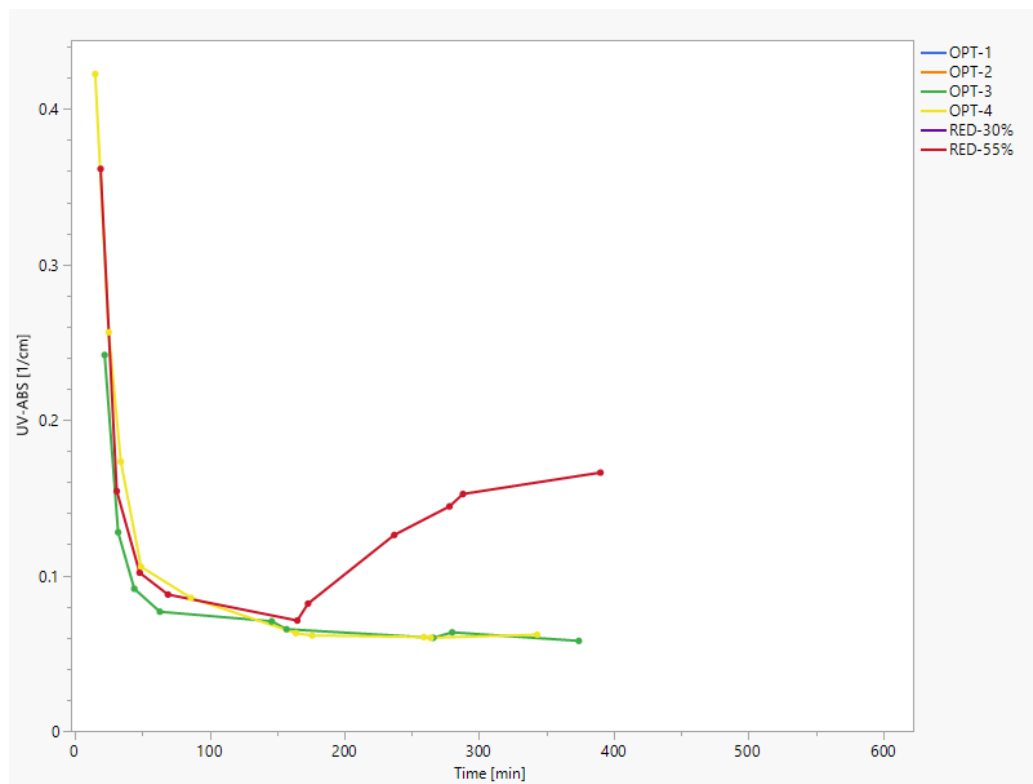


Figurer P. Pellikainen

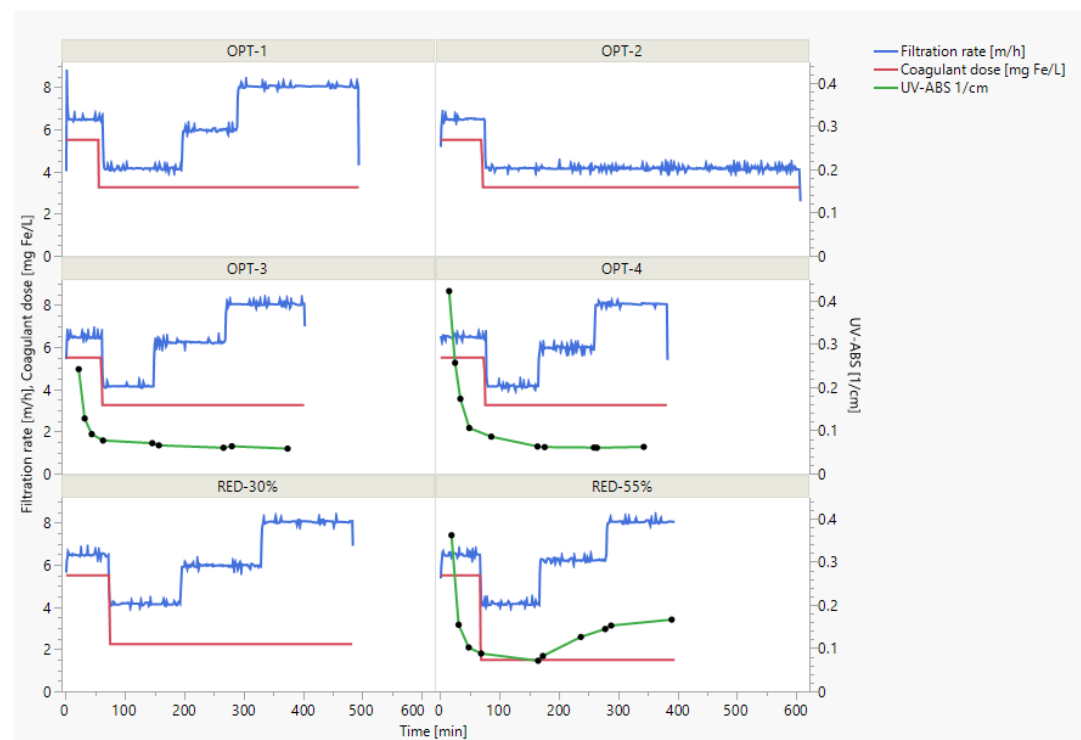


UV-absorbans (UV-ABS)

- UV-ABS begynte å øke ved redusert koagulantdose

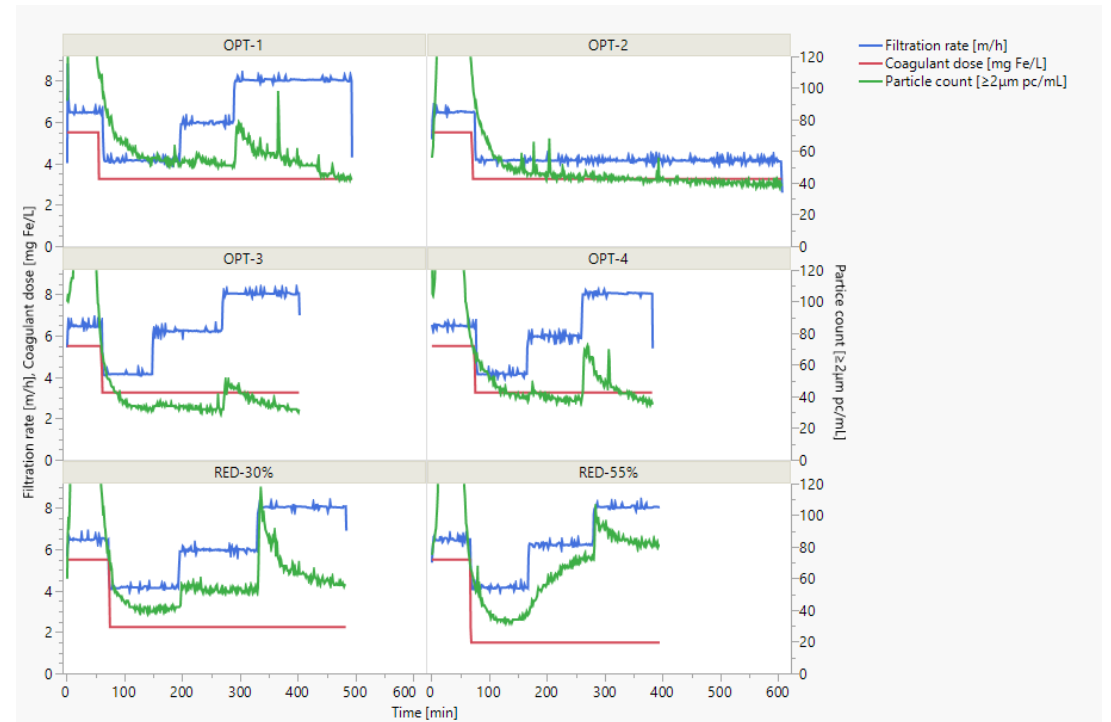
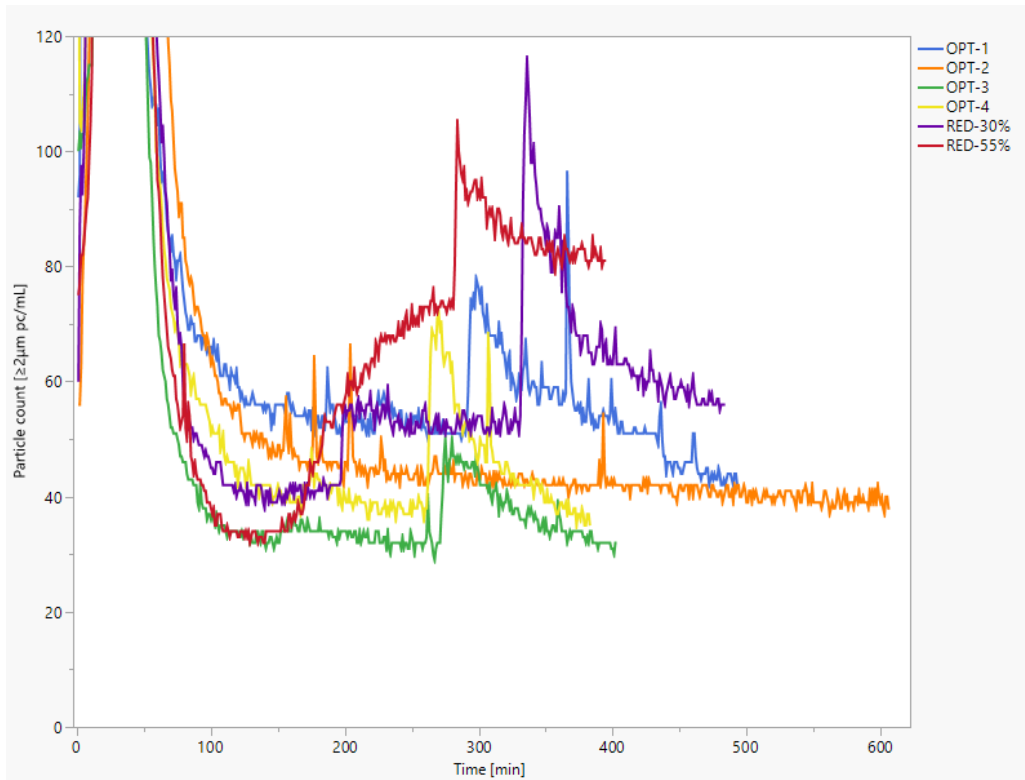


Figurer P. Pellikainen



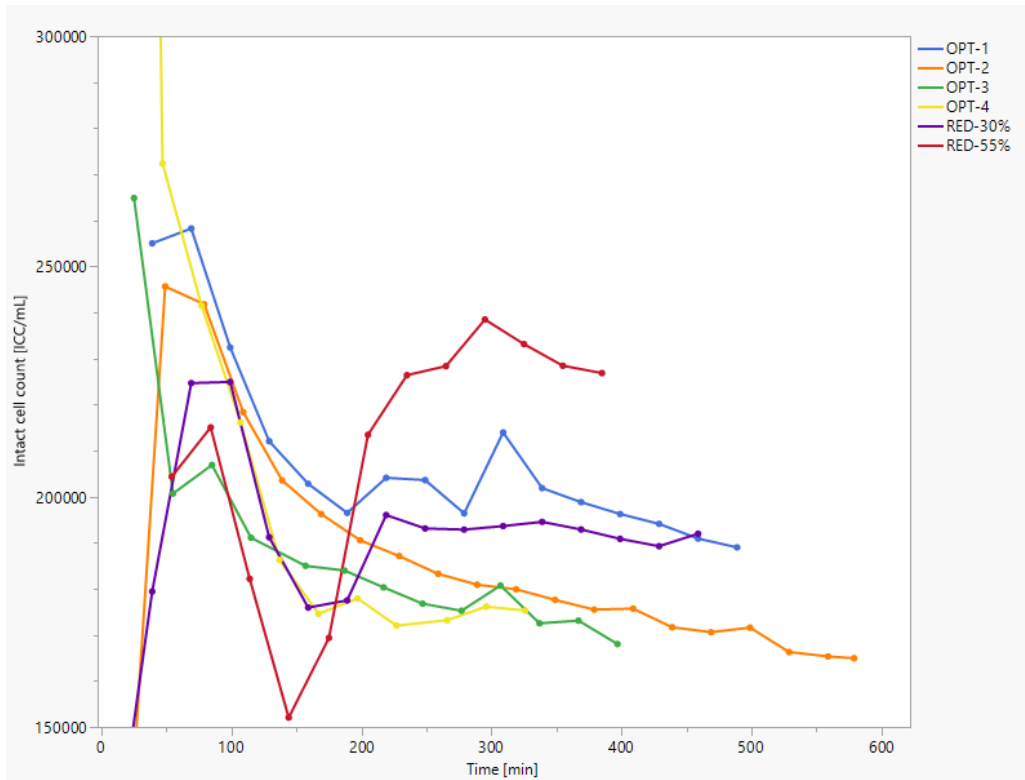
Partikkeltelling

- Viste forhøyede verdier ved økt filtreringshastighet.
- Økte også ved redusert koagulantdose.



Flowcytometri og intakt celledall (ICC)

- ICC viste økning ved redusert koagulantdose, men også når filter var spylt unormalt mye før forsøkstart

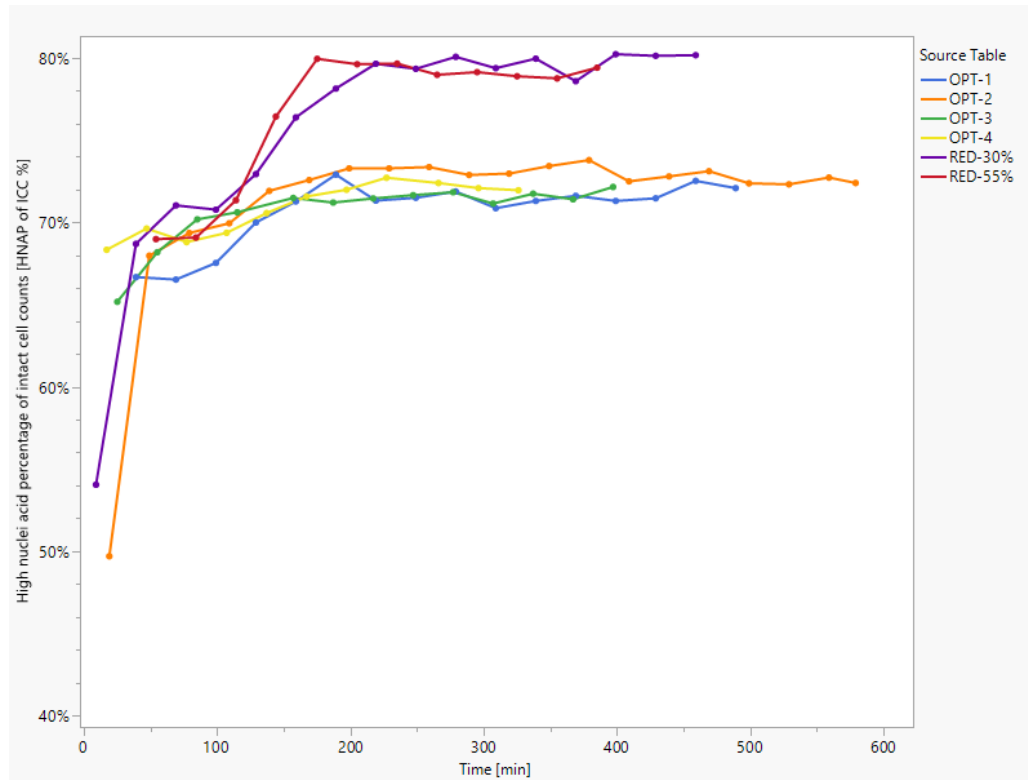


Figurer P. Pellikainen

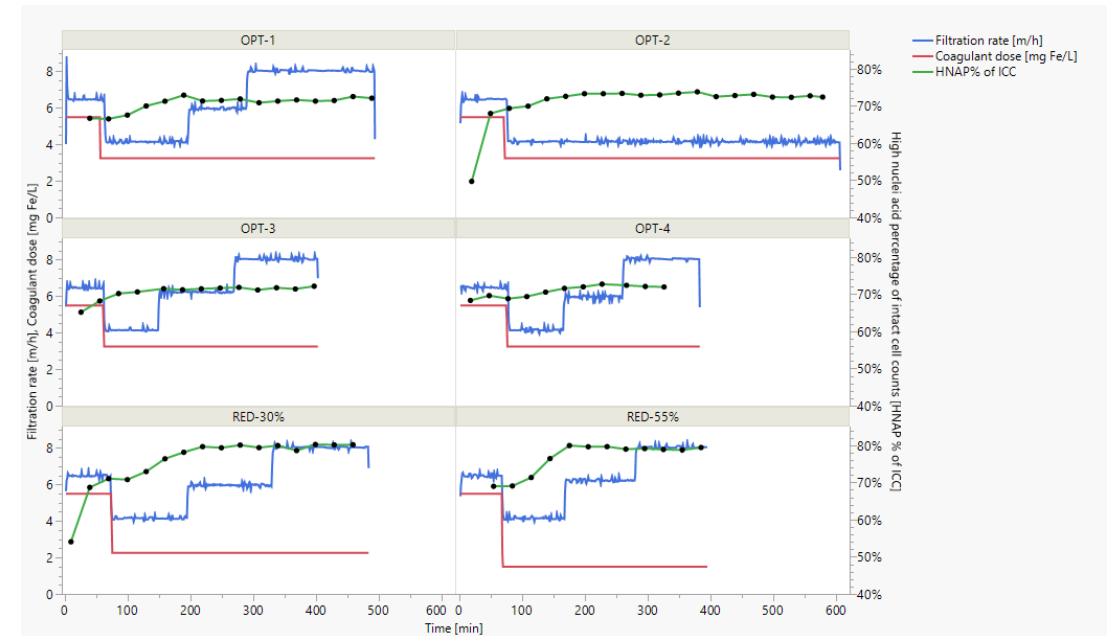


Flowcytometri HNAP%

- HNAP% viste tydelig forskjell når koagulantdosering var redusert fra optimalt nivå



Figurer P. Pellikainen



Oppsummering

- Virusfjerning er mer krevende enn bakteriefjerning.
- Koagulering øker virusfjerningen betydelig sammenlignet med kun filtrering.
- Virusfjerning er sensitiv for redusert dosering og operativt stress, som økninger i filtreringshastighet ved filterspyling



Anbefalinger

- Nøyte overvåking og kontroll av koagulantdose og koaguleringsprosess.
- Strengere styrings- og overvåkningsnivåer, for eksempel turbiditet 0–0,15 FNU i stedet for 0–1 FNU.
- Tidlig alarm ved avvik fra normalverdier. F.eks 0,1 FNU.
- Kombiner ulike målere med ulike prinsipper (f.eks. turbiditet og UV-absorbans)
- Praktisere filtermodning
- Optimalisert hydraulisk styring gjennom filterer med tanke på vannkvalitet.
- Ved å oppdage avvik tidlig – også små avvik – kan korrigerende tiltak iverksettes raskere. Dette krever automatisering og kontinuerlig overvåkning.
- Disse tiltakene kan ofte implementeres enkelt på eksisterende anlegg,



Takk for meg!

Paula Pellikainen
paula@optiva.no
www.optiva.no

Norsk Vann rapport 289/2024
Vannbehandlingsbarrierer,
vannverkslam og returstrømmer
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714425014655>
[Investigating log removals of bacteria and viruses at a full-scale enhanced coagulation contact filtration drinking water treatment plant - ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714425014655)

