

Demonstrasjon av anvendelsesområdet for en online partikkelteller i vannforsyningssystemet

Av Carsten Ulrich Schwermer og Christian Vogelsang

Begge er forskere ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA)

Summary

Demonstration of applications for an online particle detector in the water supply system. Through the drinking-water regulations, waterworks are required to sustain sufficient hygienic barriers to ensure health-safe drinking water when received by consumers. Adequate monitoring systems are necessary to be able to document that the waterworks are operated satisfactorily and that the hygienic barriers are safeguarded. One of the most commonly applied monitoring parameters at Norwegian waterworks today is turbidity, as a measure of the water's particle content. This particle content can also be quantified more directly by particle counting. Here we present results from tests conducted with an online particle counter at various locations along the water supply system connected to a waterworks. This type of particle counter is often used for quality control at foreign waterworks. The purpose of our investigation was to demonstrate various applications where turbidimeters are less adequate.

Sammendrag

Gjennom drikkevannsforskriften er vannverke- ne pålagt å ha tilstrekkelige hygieniske barrierer for å sikre helsemessig trygt drikkevann til enhver tid ute hos abonnentene. Adekvate

overvåkningssystemer er nødvendige for å kunne dokumentere at vannverket driftes tilfredsstillende og at de hygieniske barrierene er ivarettatt. En av de vanligst benyttede overvåkingsparametrene ved norske vannverk i dag er turbiditet, som et mål på vannets partikkelinnhold. Dette partikkelinnholdet kan også kvantifiseres mer direkte ved hjelp av partikkeltellinger. Her presenterer vi resultater fra uttesting av en online partikkelteller satt opp på ulike punkter på vannforsyningssystemet rundt et vannverk. Denne typen partikkeltellere er hyppig brukt i kvalitetssikring ved utenlandske vannverk. Hensikten med undersøkelsen var å demonstrere ulike anvendelser der bruk av turbidimetre er mindre egnet.

Introduksjon

Vannverkseier plikter å sørge for at drikkevannet er helsemessig trygt, klart og uten fremtredende lukt, smak og farge der det leveres til abonnentene. Det er derfor viktig at vannkvaliteten i størst mulig grad opprettholdes under lagring og transport ute på ledningsnettet. Det er drikkevannets innhold av mikroorganismer og kjemiske forurensninger som bestemmer om det utgjør en mulig helsefare. Helsemyndighetene har satt grenseverdier i drikkevannsforskriften

som vannverkseier må overholde. Vannverks-eier plikter å gjennomføre nødvendige sikrings-tiltak gjennom en kartlegging av potensielle farer og videre vurdering av hvilke beskyttelses-tiltak og vannbehandling som er nødvendig for å sikre et helsemessig trygt drikkevann. Sikring av høy vannkvalitet til enhver tid krever tilstrekkelige overvåkningssystemer.

Ved vannverk som har etablert kjemisk felling med etterfølgende filtrering gjennom mediafiltere er driften vanligvis overvåket ved å måle vannets turbiditet ut fra filtrene. Turbiditetsmålingen er basert på hvor mye av lyset som sendes gjennom prøven som spres og måleresultatet vil derfor være avhengig av antall partikler i prøven, men også partiklenes størrelse, form, farge og refleksivitet (Kleizen m.fl., 1995). Resultatet sammenlignes med en Formazinstandard og angis i formazin-nefelo-metriske enheter (FNU). Turbidimeteret kan settes opp før og etter hvert enkelt mediafilter og kontinuerlig overvåke partikkeltettheten inn og ut, noe som gjør det mulig å direkte følge med på stabiliteten under ulike driftsoperasjonelle faser og samlet renseseffekt. Turbidimeteret kan også overvåke vannets innhold av partikler på utvalgte steder ute på distribusjonsnettet fram til f. eks. spesielt sårbare abonnenter.

Et alternativ er å bruke en partikkelteller, noe som også gir en størrelsesfordeling av partiklene i tillegg til den totale konsentrasjonen partikler. Dette kan ha betydning i enkelte sammenhenger, siden en relativt stor endring i partikkelkonsentrasjonen innen et snevert partikkelstørrelsesområde kan maskeres av alle de øvrige partiklene og dermed lett overses med en turbiditetsmåling. Normalt er det et tilnærmet omvendt eksponentielt forhold mellom antall partikler og deres størrelse i drikkevann, og det kan derfor være nyttig å kunne isolere bort de minste partiklene for å gjøre de større partiklene mer synlige. Partikkelkonsentrasjonen på vannverkets rentvannssiden og i ledningsnettet kan ofte være nær deteksjonsgrensen til turbidimeteret, og en partikkelteller kan derfor være bedre egnet til å måle både små partikkelkonsentrasjoner og reelle endringer i partikkelinnholdet. Turbidi-

meteret og partikkeltelleren har ulike funksjoner og gir supplerende informasjon. Turbidimeteret blir gjerne primært brukt for prosessovervåking.

Siden mikrobielle forurensninger i prinsippet er partikler med ulik form og størrelse, vil en partikkeltelling også fange opp disse. Typiske størrelser er 0,02-0,3 μm for virus, 0,5-5 μm for bakterier og større enn 3 μm for parasitter (3-6 μm for *Cryptosporidium* oocyster og 8-14 μm for *Giardia* cyster) (Gelderblom, 1996; Wikipedia 1; Wikipedia 2; Keserue o. f. 2011). En eventuell økning i antallet partikler innenfor de respektive størrelsesområdene kan indikere en økt tilstedeværelse av de respektive mikroorganismene og en potensiell svekkelse av en hygienisk barriere, og dermed signalisere et behov for å foreta en mer spesifikk identifisering og kvantifisering. Hvor egnet partikkeltellingene vil være til å identifisere slike potensielle hendelser avhenger av bakgrunnsstøyen fra andre partikler i vannet. Bakgrunnsstøyen i størrelsesområdene der virus og bakterier befinner seg vil være betydelig større enn der hvor parasittene befinner seg, men der er også behovet for en lav deteksjonsgrense spesielt høy (infeksiøs dose er ca. 10-25 cyster). Partikkeltelleren som ble brukt kan imidlertid ikke skille mellom mikroorganismer og andre partikler.

Partikkelmålingene, som er presentert i denne studien, er rutinemessig gjennomført for kontinuerlig overvåking ved flere vannverk i utlandet, for eksempel i Zurich, Paris og Roetgen (Tyskland) (M. Klotz, personlig kommunikasjon). Her brukes de gjerne partikkeltellere til kvalitetskontroll av rentvannet (ofte fra grunnvannskilder) for å overvåke effekten av behandlingen og for å identifisere potensiell svikt i hygieniske barrierer ute i vannkilden og inne på vannverket. Ved kvalitetskontroll av rentvannet blir gjerne partikkelmåleren benyttet til å detektere lave partikkelkonsentrasjoner mellom 1-1000 partikler/ mL (med 1 μm størrelse), som vanskelig lar seg fange opp med et turbidimeter. Mange partikkeltellere som blir brukt i andre land er fast installert og måler definerte partikkelstørrelser i en kontinuerlig vannstrøm. Men

man anvender også mobile instrumenter som kan måle et større spektrum av partikkelstørrelser (ulike store kapillæråpninger) for måling på for eksempel råvannet. Et slik instrument brukte vi i våre undersøkelser.

I løpet av 2019 testet vi en mobil online partikkelteller ved FREVAR sitt vannverk i Fredrikstad. Råvannet (overflatevann) gjennomgår en behandling som inkluderer koagulering & flokkulering, sedimentering, filtrering og klorbehandling før det pumpes over til to høydebasseng på til sammen 66 000 m³. Etter UV behandling sendes vannet ut på distribusjonsnettet. Vi testet partikkeltelleren på utløpet fra tomediafilteret, på innløpet til og utløpet fra ett av høydebassengene, samt ute hos en abonnent nedstrøms vannverket.

Hensikten med studiet var å demonstrere partikkeltelleren for ulike anvendelser i vannforsyningssystemet, og spesielt å undersøke hvor egnet den er til å måle betydningsfulle endringer i partikkelkonsentrasjonen som turbidimeteret er mindre egnet til. Resultatene fra fire delstudier presenteres:

- (i) Optimalisert driftssyklus av et tomediafilter.
- (ii) Effekt av sedimentasjon under lagring i høydebasseng.
- (iii) Effekt av rengjøring av ett av høydebassengene på rentvannskvaliteten ut fra høydebassengene.
- (iv) Overvåkning av vannkvaliteten ute på distribusjonsnettet.

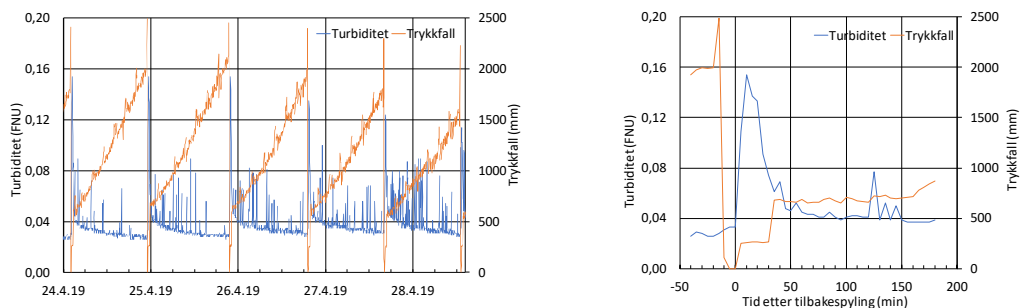
Partikkeltelleren (PCSS fluid lite fra Markus Klotz GmbH, Bad Liebenzell, Tyskland) er et bærbart instrument som kan måle opp til 60.000 partikler/mL med en diameter i størrelsesområdet 0,8-400 µm i vandige løsninger. En vannstrøm (30 mL/min i 20 s) sendes gjennom et tynt kapillær, som bestråles med et laserlys. En fotodetektor analyserer lystapet som hver enkelt partikkel forårsaker ut fra en tilsvarende endring i målt voltmetrisk spenning. Partiklenes diameter eller volum beregnes basert på en intern kalibrering mot latekskuler med kjent størrelse. Telleren målte direkte fra vannstrømmen hvert 10. eller 15. min. Partikkelinnholdet ble målt i

10-mL vannprøver, dermed var deteksjonsgrensen 0,1 partikkel/mL. Innløpende vann ble filtrert gjennom et metallfilter med 400 µm lysåpninger (for beskyttelse av målecellen). Målepunktet ble kontinuerlig spylt, og det ble sørget for at det ikke ble dratt luftbobler inn i partikkeltelleren.

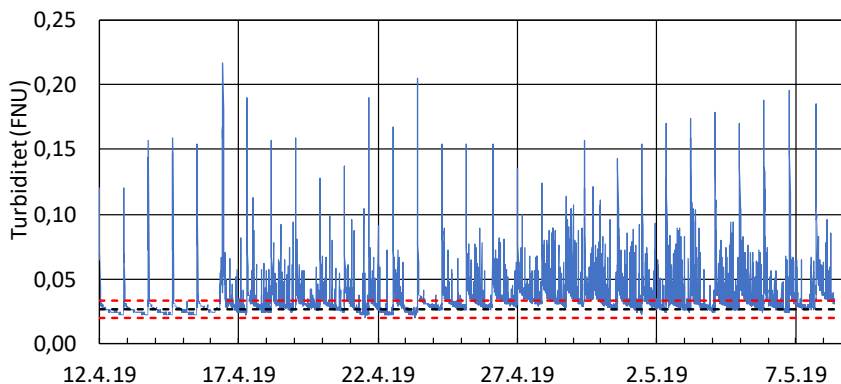
Optimalisert driftssyklus av et tomediafilter

Filtreringstrinnet ved vannverket består av 7 parallelle tomediafiltere i drift under testen med 0,1 m støttegrus og sand, 0,6 m sand og 0,8 m Filtralite. Sanden og Filtraliten befinner seg i to separate kammere (A og B), som tilbakespyles uavhengig av hverandre. Tilbakespylingen skjer én gang per døgn etter følgende rutine: (i) Stopp i råvannstilførsel og nedtapping av filteret; (ii) Kammer A luftblåses i 120 s; (iii) Kammer A tilbakespyles i 300-400 s, mens kammer B luftblåses i 120 sek; (iv) Kammer B tilbakespyles i 300-400 s; (v) Filtratet (ca. 220 m³/h) fra kammer A og B de første ca. 30 min etter tilbakespylingen, det såkalte «førstefiltratet», kastes til avløp. Partikkeltelleren ble plassert på en bypass-sløyfe etter ett av sandfiltrene, samme sted som anleggets fastmonterte turbidimeter. Partikkelmålinger ble gjort hvert 15. min, mens turbiditet ble målt hvert 5. min.

Figur 1 viser hvordan trykktapet over filteret og turbiditeten i rentvannet ut fra filteret typisk varierer gjennom noen tilfeldig utvalgte driftssykluser. Som delfiguren (Figur 1 t.h.) indikerer, under tilbakespylingen forsvinner trykket over filteret, og når filteret går tilbake til normal driftsmodus bygges trykktapet opp igjen: først raskt under den såkalte modningsfasen der trykktapet over det rene filteret stabiliserer seg, og deretter skjer det en mer langsom oppbygging av trykk over filteret etter hvert som en økende mengde partikler blir fanget opp i filteret. Under modningsfasen er turbiditeten ut fra filteret relativt høyt, og vannet sendes ikke ut til høydebassengene. Under den etterfølgende driftsfasen er det en klar tendens til redusert turbiditet ut fra filteret, men gjennom alle syklusene vist i Figur 1 var det en rekke tilsynelatende



Figur 1. Trykkfall og turbiditet ut fra ett av tomediafilterne under typiske driftssyklusler. Høyre delfiguren viser et kortere tidsavsnitt fra én av driftssyklusene (25.4.19) der tilbakespylingen og den første modningsfasen av filteret er fremhevet.



Figur 2. Turbiditet ut fra ett av tomediafilterne under driftssyklusler i perioden 12.4.-8.5.19. Turbiditetsverdiene under tilbakespylingen og modningsfasen av filteret er også vist, og den er ikke fullt representativ for hva som pumpes til høydebassengene. Svarte stiplede linjen = gjennomsn. turbiditetsverdien under driftsfasen; røde stiplede linjene = snittverdien med +/- ett standardavvik.

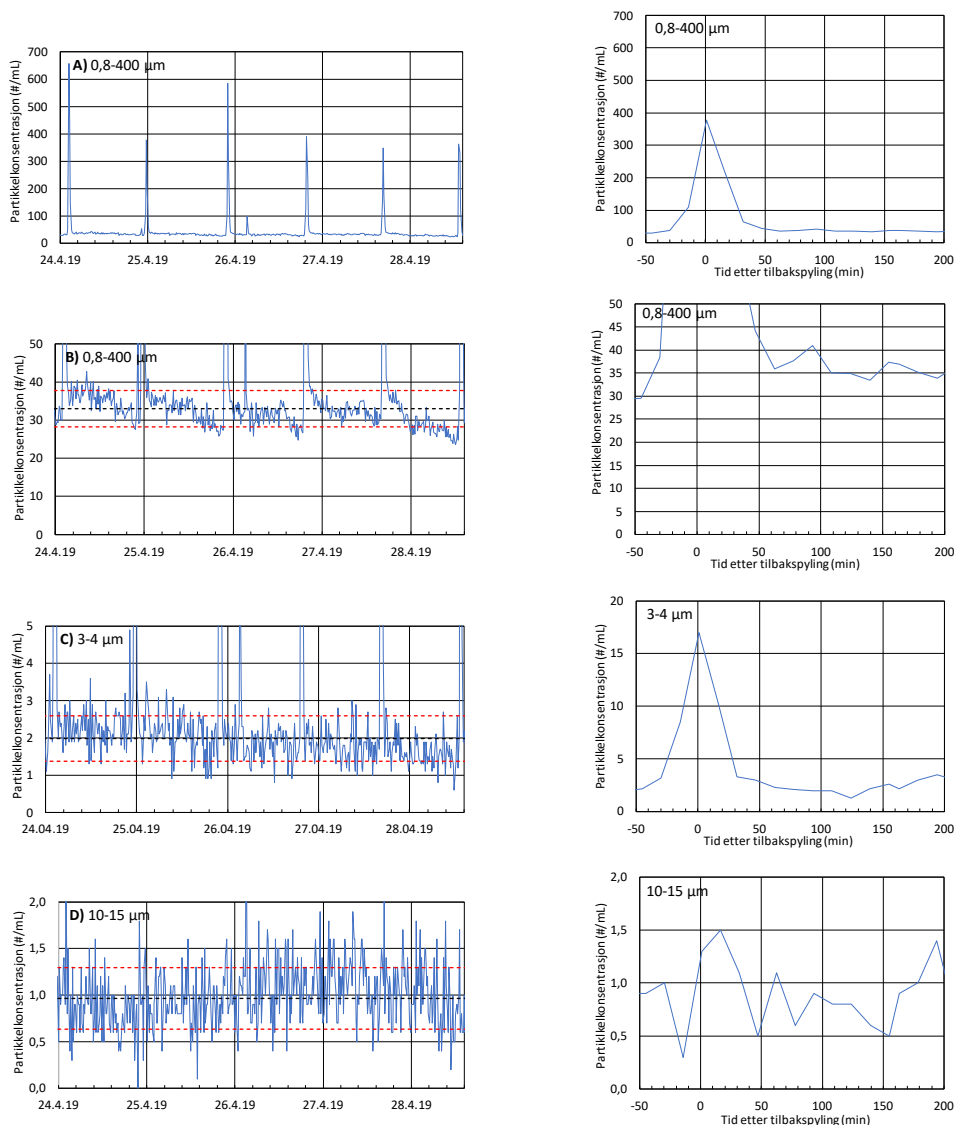
gjennombrudd av filteret, som indikerer mulige brudd på den hygieniske barrieren som filteret i utgangspunktet utgjør. Det er usikkert om dette er reelle variasjoner eller bakgrunnsstøy siden signalene er så nær deteksjonsgrensen. Figur 2, som inkluderer alle driftssyklusene gjennom perioden 12.4.-8.5.19, antyder at dette ha vært mer regelen mer unntaket. Samtidig, i gjennomsnitt for samme perioden var turbiditeten ut fra filteret i driftsfasen (fra 50 min etter tilbakespyling) 0,033 FNU med et standardavvik på 0,011 FNU, og 95-persentilen var 0,056 FNU (Figur 2). Denne snittverdien er nær den kvantifikasjonsgrensen for turbidimeteret på tilsynelatende 0,020 FNU, som indikerer at disse turbiditetsverdiene ikke er særlig egnet til å vurdere mindre endringer i partikkelinnholdet i filtratet under driftsfasen.

Figur 3 viser partikkelkonsentrasjonene i filtratet fra det samme tomediafilteret under den samme perioden som vist i Figur 1 og Figur 2. Delfigurene A og B i Figur 3 viser konsentrasjonen av alle partikler i størrelsesområdet 0,8-400 μm . Tre forhold er spesielt interessant:

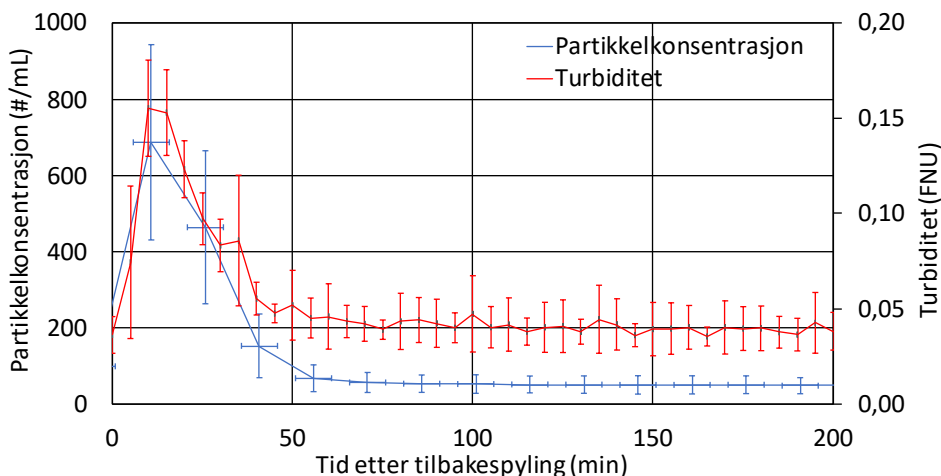
1. Det generelle forløpet for partikkelkonsentrasjonen under tilbakespylings-/modningsfasen fulgte mest det samme forløpet som turbiditeten fulgte (Figur 1).
2. Konsentrasjonen av partikler i størrelsesområdet 0,8-400 μm målt med partikkeltelleren varierte vesentlig mindre under driftsfasen enn turbiditetsmålingene, med svært få indikasjoner på brist på den hygieniske barrieren. Dette er også tydeliggjort i Figur 4, hvor gjennomsnittet av alle turbiditetsverdier og partikkelkonsentrasjo-

ner (0,8-400 μm) i filtratet de første 200 min etter tilbakespylingen er vist. Beregnet på hele måleperioden tok det mellom 46-138 min. (gjennomsnitt 56 min) for at normalnivået med 33 ± 5 partikler/mL ble nådd etter tilbakespyling.

- Konsentrasjonen av partikler i størrelsesområdet 0,8-400 μm i driftsfasen for perioden



Figur 3. Partikkelkonsentrasjonen ut fra ett av tomediafilterne under driftssykluser i perioden 24.-28.4.19. De enkelte delfigurene viser alle partiklene i størrelsesområdet 0,8-400 μm (A, B), 3-4 μm (C) og 10-15 μm (D). Svarte stiplede linjen = gjennomsn. partikkelkonsentrasjonen under driftsfasen; røde stiplede linjene = snittverdi med \pm ett standardavvik. Delfigurene til høyre viser et kortere tidsavsnitt fra én av driftssykluserne (25.4) der tilbakespylingen og den første modningsfasen av filteret er fremhevet.



Figur 4. Gjennomsnittet av alle turbiditetsverdier og partikkelkonsentrasjoner (0,8-400 μm) i filtratet fra ett av tomediafilterne de første 200 min etter tilbakespylingen på 12.4.-8.5.19. Feilstolpene angir standardavviket til snittverdien ved hvert tidspunkt. Siden partikkelkonsentrasjonen kun ble målt hvert 15. minutt er det her også standardavviket til tidsangivelsen etter tilbakespylingen angitt (± 5 min).

Snittverdiene for turbiditet og partikkelkonsentrasjon under driftsfasen som er vist i hhv. Figur 2 og Figur 3 er beregnet ut fra en modningstid på ca. 70 min, basert på forløpet til partikkelkonsentrasjonskurven i Figur 4. Ved vannverket kjøres imidlertid filterne med en 30 min modningstid før filtratet sendes ut til bassengene. Hvis dette legges til grunn, øker ikke den gjennomsnittlige partikkelkonsentrasjonen ut fra filteret mer enn fra 33 partikler/mL til 36 partikler/mL. Men siden partikkelkonsentrasjonen i perioden 30-70 min etter tilbakespylingen varierer betydelig mer, øker også standardavviket fra 5 partikler/mL til hele 31 partikler/mL.

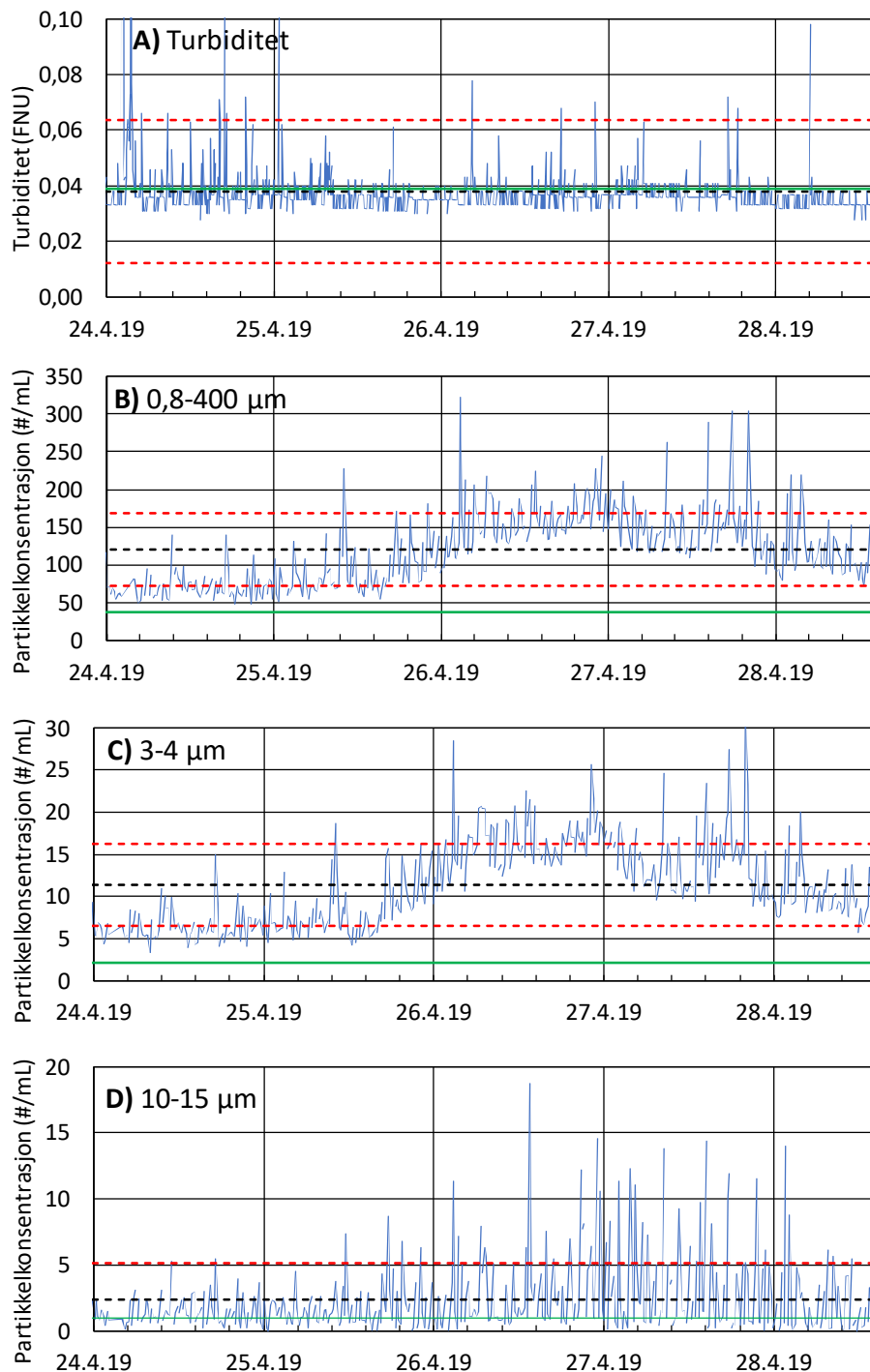
Dette har betydning når man betrakter alle de 7 filterne ved vannverket samlet. Deres driftsytelse går uavhengig av hverandre, slik at dette partikkelvedhengenget fra modningstiden kommer relativt hyppig og langvarig i løpet av et døgn (teoretisk $40 \text{ min} \times 7 = \text{ca. } 4,7 \text{ timer}$). Figur 5B-D viser den samlede partikkelkonsentrasjonen ut fra alle 7 filterne, og er det som sendes til høydebassengene. Partikkelkonsentrasjonen ut fra alle filterne er betydelig høyere enn konsentrasjonen ut under driftsfasen fra det ene filteret som ble diskutert over (jfr. Figur 3). Dette gjaldt alle partikkelstørrelsesområdene vist i figuren: 0,8-400 μm , 3,3 ganger høyere; 3-4 μm , 5,3 ganger

høyere; 10-15 μm , 2,4 ganger høyere. Sannsynligvis vil vannverket kunne levere en jevnere vannkvalitet hvis modningstiden økes noe, f.eks. til 50-60 min.

Ca. to dager ut i den 4,5 dager lange perioden var det også en markant økning i partikkelinnholdet ut fra filterne, som holdt seg i ca. 2 døgn (Figur 5). Det relative utslaget blant partikler i størrelsesområdet 3-4 μm og 10-15 μm var tilnærmet identisk med utslaget for alle partiklene i størrelsesområdet 0,8-400 μm . Som Figur 5A viser, var gjennomsnittsturbiditeten ut fra filterne (svart stiplet linje; 0,038 FNU) i sammen periode ikke høyere enn gjennomsnittsturbiditeten fra det undersøkte filter (grønn heltrukket linje; 0,039 FNU). Turbiditeten fanget heller ikke opp den generelle økningen i perioden, som var veldig tydelig med partikkelmålingene.

Effekt av sedimentasjon under lagring i høydebasseng

Vannverket produserer i gjennomsnitt 42 000 m^3 rent vann per døgn, og dette vannet mellomlagres i to høydebasseng før det ledes ut på distribusjonsnettet. Den gjennomsnittlige lagringstiden er på ca. 1 døgn. Under denne lagringstiden vil partikler synke ut og legge seg på bunnen av bassengene, slik at høydebassengene også fungerer



Figur 5. Turbiditeten (A) og partikkelkonsentrasjonen (B-D) ut fra alle tomediafilterne under samme periode som vist i Figur 3 (24.-28.4.19). Delfigurene viser alle partiklene i definerte størrelsesområder. Svarte stiplede linjen = gjennomsn. partikkelkonsentrasjonen; røde stiplede linjene = snittverdien med +/- ett standardavvik; grønne linjen = gjennomsn. turbiditet (i A) og gjennomsn. partikkelkonsentrasjon av (i B-D) ut fra det undersøkte filter (jfr. Figur 3).

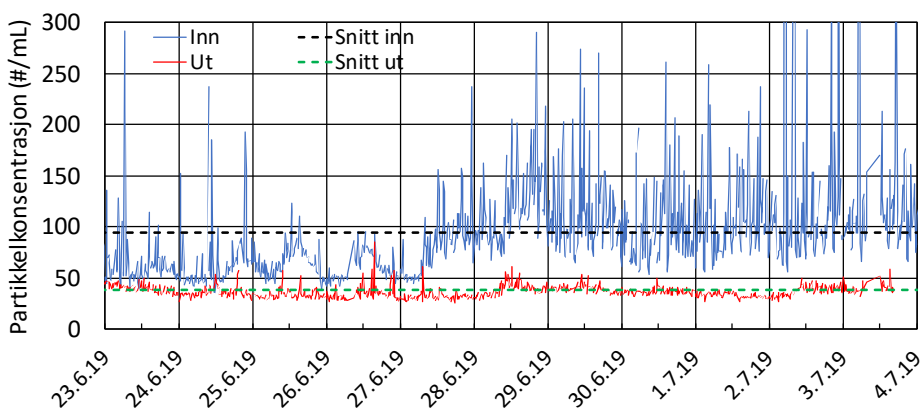
som et etterpoleringstrinn. Partikkelkonsentrasjonene i vannet inn til høydebassengene og ut fra høydebassengene (etter UV) ble målt over en periode i juni og juli 2019.

Figur 6 viser resultatene fra en periode i juni-juli 2019. Konsentrasjonen av 0,8-400 μm store partikler i vannet inn varierte veldig mye og gjenspeilte det samme bilde som ble presentert for perioden 24.-30.4.19 (Figur 5). Også den gjennomsnittlige konsentrasjonen av 0,8-400 μm -partikler var tilnærmet lik i de to periodene. Figur 6 viser også at lagringen i høydebassengene hadde en tydelig stabiliserende effekt på partikkelkonsentrasjonen ut fra bassengene i denne perioden. I gjennomsnitt sedimenterte ca. 60% av alle partiklene (eller 76% på volumbasis) i størrelsesområdet 0,8-400 μm i løpet av denne lagringsperioden i bassengene (Tabell 1). Selv 1-2 μm store partikler sedimenterte ut (47% basert på antall eller 63% basert på volum), noe

som indikerer at også ikke-bevegelige bakterier (dvs. uten flageller) kan sedimentere ut i løpet av denne tiden. Partikler i størrelsesklasse 10-15 μm sedimenterer i enda litt større grad ut (64% basert på antall eller 76% basert på volum). Parasitten *Giardia intestinalis* er i denne størrelsesorden. Siden den foreligger som cyste uten flageller i drikkevann (hvis den i det hele tatt forekommer), vil den også til en viss grad kunne synke ut. Denne sedimentering har sannsynligvis likevel begrenset betydning i et hygienisk perspektiv. Hvis tallene for partikler i størrelsesområdet 0,8-400 μm i Tabell 1 legges til grunn, sedimenterte det i gjennomsnitt ut 8,2 μL partikler/ m^3 rentvann inn på høydebassengene i perioden 23.6.-3.7.19. Med 42 000 m^3 rentvann per døgn tilsvarte dette ca. 345 mL partikler/døgn eller 126 L partikler/år. Med en bassenggrunnflate på ca. 8 200 m^2 , vil disse partiklene bygge et sedimentlag på ca. 16 μm over ett helt

Tabell 1. Gjennomsnittskonsentrasjonen av partikler i ulike størrelsesområder inn og ut fra høydebassengene mellom 23.6.-3.7.19. Snitt verdien er gitt med standardavvik.

Størrelsesområde (μm)	Inn		Ut		Andel fjernet	
	#/mL	$\mu\text{L}/\text{m}^3$	#/mL	$\mu\text{L}/\text{m}^3$	% av #	% av volum
0,8-400	94 \pm 38	10,8 \pm 13,8	38 \pm 11	2,6 \pm 1,6	59	76
1-2	35 \pm 16	0,069 \pm 0,031	14,8 \pm 3,6	0,026 \pm 0,004	47	63
3-4	7,8 \pm 8,9	0,22 \pm 0,23	2,9 \pm 1,2	0,062 \pm 0,016	63	72
10-15	2,2 \pm 3,0	2,8 \pm 3,6	0,78 \pm 0,59	0,68 \pm 0,33	64	76



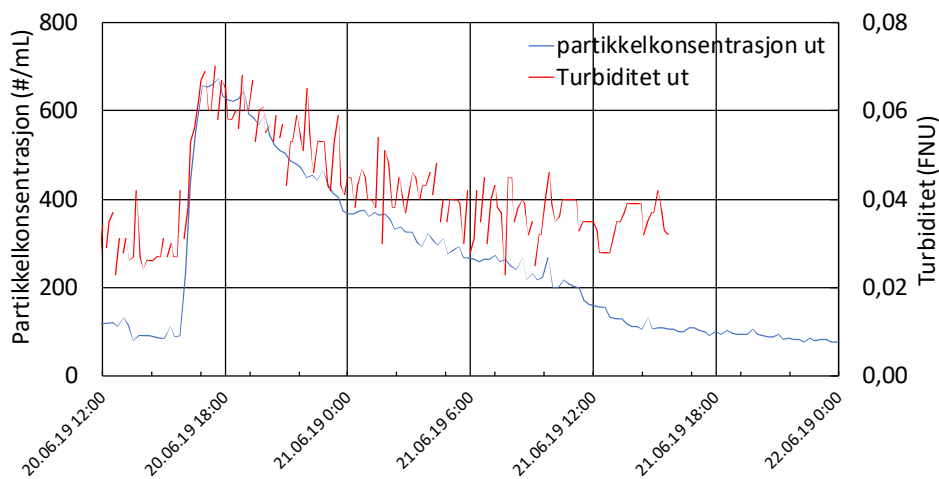
Figur 6. Partikkelkonsentrasjonen inn til (blått) og ut fra høydebassengene (rødt) mellom 23.6.-3.7.19. Svarte stiplede linjen = gjennomsn. partikkelkonsentrasjonen inn bassenget (94 \pm 71 partikler/mL); grønne stiplede linjen = gjennomsn. partikkelkonsentrasjonen ut bassenget (38 \pm 11 partikler/mL).

år (hvis tettpakket). Normalt vil man i tillegg til dette få noe biofilmvekst i et slikt høydebasseng.

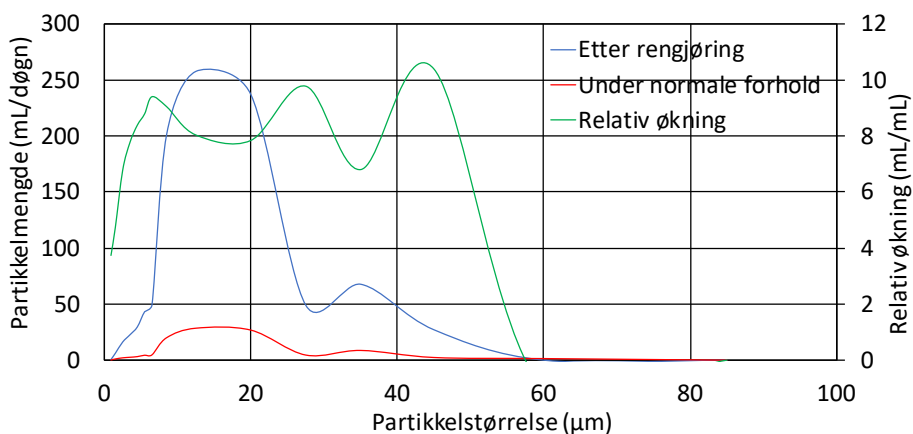
Effekt av rengjøring av ett av høydebassengene på rentvannskvaliteten ut fra høydebassengene

Under rengjøring av ett av høydebassengene ble dette tømt (fra 17.6.19) og spylt (19.6.19). På 20.6.19 ble bassengene koblet sammen igjen med påfølgende utjevning, mens rentvannet da gikk ut på distribusjonsnettet fra begge bassengene. Figur 7 viser konsentrasjonen av partikler i størrelsesområdet 0,8-400 μm og turbiditeten

ut fra høydebassengene etter påkoblingen. Både partikkelmålingene og turbiditetsmålingene indikerer at det fortsatt var en betydelig forhøyet partikkelkonsentrasjon i vannet fra bassenget som var rengjort selv etter 4 døgn. Imidlertid var utslaget betydelig mer markert målt med partikkeltelleren, som derfor ga også en mer nøyaktig angivelse av hvor lenge dette etterslepet med økt partikkelinnhold vedvarte. Ved spyling av høydebasseng vil man normalt også løsrive biofilm som har dannet seg i perioden siden siste spyling. På grunn av biofilmens konsistens som holder biofilmen sammen, kan man forvente at



Figur 7. Konsentrasjonen av partikler i størrelsesområdet 0,8-400 μm og turbiditeten ut fra høydebassengene når også rentvannet fra det rengjorte bassenget ble sendt ut på distribusjonsnettet dagen etter at bassenget hadde blitt rengjort.



Figur 8. Størrelsesfordelingen av partikler i vannet ut fra høydebassengene 4 dager etter at ett av disse hadde blitt rengjort, sammenlignet med størrelsesfordelingen under normale forhold.

denne vil komme ut som større aggregerte partikler. Likevel Figur 8 indikerer at volumøkningen av partikler i vannet ut fra høydebassengene i den angitte perioden etter rengjøringen ikke var nevneverdig forskjøvet mot større partikler sammenlignet med under normale forhold. Merk at restene fra eventuell løserevet biofilm kan ha blitt vasket ut på et tidligere tidspunkt.

Overvåkning av vannkvaliteten ute på distribusjonsnettet

Mellom 9.7.-24.9.19 ble partikkelkonsentrasjonen målt hos en abonnent ute på distribusjonsnettet ca. 6,5 km unna vannverket. De målte partikkelkonsentrasjonene er oppsummert i Tabell 2 sammen med konsentrasjonen av partikler ut fra høydebassengene i omtrent samme periode (9.7.-6.9.19). Jevnt over var konsentrasjonene når det nådde abonnenten omtrent det dobbelte av det de var ut fra høydebassengene, noe som indikerer et høyt bidrag til partikkelinnholdet under transporten i distribusjonsnettet. Mest sannsynlig skyldes dette medrivning av biofilm som naturlig nok bygger seg opp ute på distribusjonsnettet på bakgrunn av rest-organisk stoff og/eller rustpartikler fra korrosjon på ledningsnettet eller sand fra nedbrutt sementmørtel i rentvannet ut fra vannverket.

Tabell 2 viser også konsentrasjonene av partikler i størrelsesområdene til indikatororganismer og sykdomsfremkallende mikroorganismer

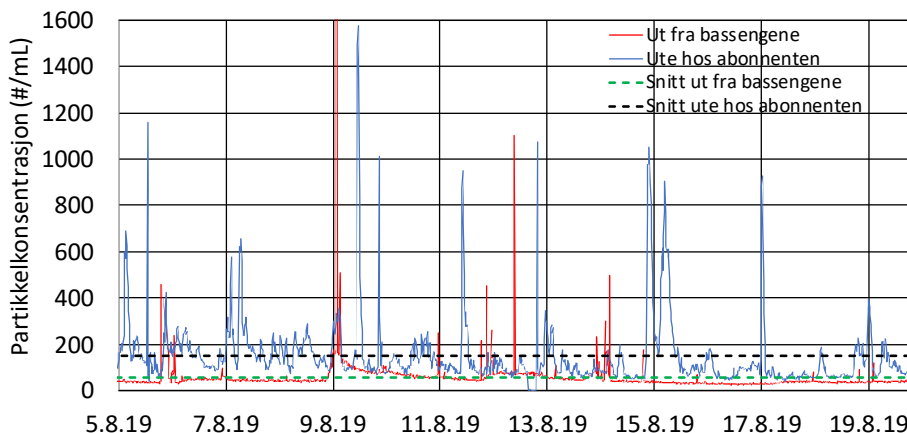
relevante i drikkevann basert på deres typiske diametere omregnet til kulediametere og med hensyn til de partikkelstørrelsesområdene som ble målt: *E. coli*: 0,7-0,9 μm \approx 0,8-1 μm ; *C. perfringens*: 1,6-3 μm \approx 2-3 μm ; *Cryptosporidium* oocyster: 4-8 μm \approx 4-7 μm ; *Giardia* cyster; 9-13 μm \approx 10-15 μm .

E. coli benyttes som indikatororganisme for fekal forurensning og ved overvåkning iht. drikkevannsforskriften er grenseverdien i drikkevannet hos abonnenten <1 per 100 mL. Median- og gjennomsnittverdiene for partikkelstørrelsesfraksjonen 0,8-1 μm i vannet hos abonnenten lå altså henholdsvis i størrelsesorden 800 og 1 600 ganger over disse grenseverdiene. Denne samme utfordringen gjelder for alle de øvrige mikroorganismene: bakgrunnsstøyen vil under normale forhold fullstendig overskygge en eventuell betydelig økning i konsentrasjonen i vannet av disse mikroorganismene. Samtidig kan måleren ikke differensiere mellom partikler og mikroorganismer. Partikkeltellinger alene er dermed ikke egnet til å signalisere et behov for supplerende tilleggsprøvetaking for å dokumentere eventuell tilstedeværelse av fekal forurensning.

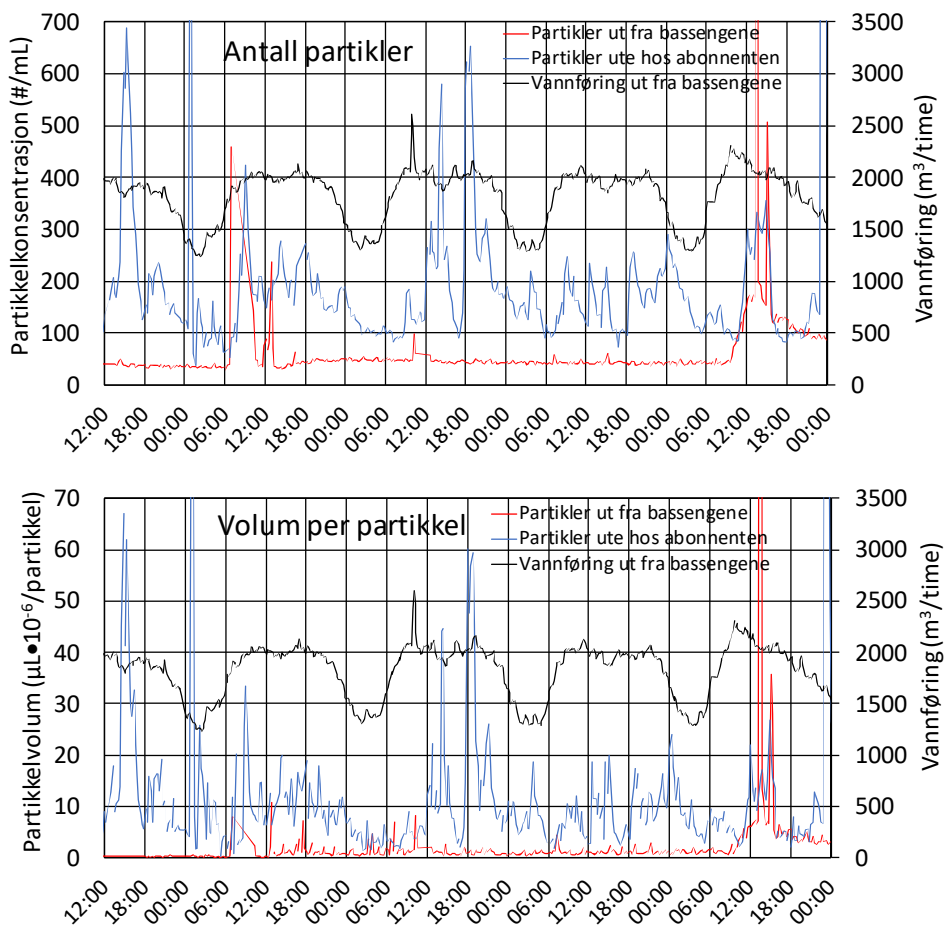
Figur 9 viser partikkelkonsentrasjonene ut fra høydebassengene og hos abonnenten i en kort, men representativ, periode (5.-20.8.19). Det var tydelige toppe i partikkelkonsentrasjonen ved abonnenten som ikke samsvarte med toppene i partikkelkonsentrasjonen ut fra høyde-

Tabell 2. Konsentrasjonen av partikler med ulike partikkeldiameterområder ut fra høydebassengene og hos en abonnent. Konsentrasjonene er gitt som snittverdier med standardavvik, medianverdier (Med) og maksverdier (Maks). Partikkeldiameterområdene er tilpasset typiske størrelser til relevante indikatororganismer og sykdomsfremkallende mikroorganismer i drikkevann omregnet til kulediametere og partikkelstørrelsesområdene som ble målt.

Størrelsesklasse	Ut fra høydebassengene (9.7.-6.9.19)			Hos abonnent (9.7.-24.9.19)		
	Snitt \pm std	Med	Maks	Snitt \pm std	Med	Maks
	# partikler/mL					
0,8-400 μm	82 \pm 161	48	5 291	165 \pm 196	141	10 356
0,8-1 μm (<i>E. coli</i>)	16 \pm 31	7,8	611	31 \pm 22	28	866
2-3 μm (<i>C. perfringens</i>)	14 \pm 29	8,1	1 055	29 \pm 37	25	1 944
4-7 μm (<i>Crypt. oocyster</i>)	8,7 \pm 18,8	5,9	822	17 \pm 35	11,6	2 139
10-15 μm (<i>Giardia</i> cyster)	1,1 \pm 4,9	0,70	272	2,4 \pm 5,8	1,40	322



Figur 9. Partikkelkonsentrasjonen ut fra høydebassengene (rødt) og ute hos en abonnent (blått) mellom 5.-20.8.19. Grønne stiplete linjen = gjennomsnittlige partikkelkonsentrasjonen i vannet ut fra høydebassengene (56 ± 110 partikler/mL); svarte stiplete linjen = gjennomsnittlige partikkelkonsentrasjonen hos abonnenten (150 ± 155 partikler/mL).



Figur 10. Antall partikler (ø.) og gjennomsnittlig volum per partikkel (ned.) ut fra høydebassengene ved vannverket og hos en abonnent mellom 5.-10.8.19 sammen med vannføringen ut fra høydebassengene.

bassengene. Hvis man ser på et enda snevrere tidsintervall i Figur 10, så tenderte partikkelkonsentrasjonstoppene ute hos abonnenten til å følge den samme døgnsyklusen som vannføringen ut fra høydebassengene. Figur 10 nederst viser hvordan den gjennomsnittlige partikkelstørrelsen varierte ut fra høydebassengene sammenlignet med ute hos abonnenten. For partiklene ute hos abonnenten følger den i stor grad samme utvikling som partikkelkonsentrasjonen, noe som styrker indikasjonene om at det kan være biofilm som løsner eller resuspensjon av andre partikler når vannføringen øker, i og med at man da forventer større partikler i vannet. Hos abonnenten vil naturlig nok variasjonen i vannføringen også kunne være betydelig større med påfølgende mer markant effekt på løsrivingen av biofilm lokalt.

I Figur 9 er det vist at partikkelkonsentrasjonen ut fra høydebassengene var spesielt høy på 9.8.19 og disse partiklene var også spesielt store (Figur 10). Dette skyldtes et uventet gjennombrudd i ett av tomediafilterene. Dette så ut til å ha gitt utslag også ute hos abonnenten med en betydelig økning i partikkelkonsentrasjonen ca. 10 timer senere.

Konklusjoner

Ved å benytte en partikkelteller får man et kvantitativt mål på hvor mange partikler i ulike størrelsesområder som befinner seg i vannet, i motsetning til en turbiditetsmåler, som gir et omforent bilde av alle partiklene som er der. Endringer i partikkelinnholdet kan dermed tre tydeligere frem og man får et mer differensiert bildet av partikkelinnholdet. Partikkeltelleren ble satt opp på utløpet fra tomediafilteret ved vannverket, på innløpet til og utløpet fra ett av høydebassengene, samt nedstrøms hos en abonnent. Følgende funn er interessant:

- Turbiditetsverdiene i rentvannet ut fra det overvåkede tomediafilteret indikerte hyppige potensielle brister i den hygieniske barrieren som dette filteret er ment å være. Konsentrasjonene av partikler i størrelsesområdet 0,8-400 μm ga vesentlig mindre bakgrunnsstøy og langt færre indikasjoner på brister i den

hygieniske barrieren. I perioden 24.-30.4.19 ble det identifisert én mulig brist, og denne ble kun fanget opp med partikkelmåleren.

- Partikkeltellingene indikerte at vannverket vil kunne levere en jevnere vannkvalitet ut til høydebassengene hvis modningstiden økes noe fra dagens 30 min til 50-60 min.
- Partikkelmålingene viste at ca. 60 % av alle partiklene i størrelsesområdet 0,8-400 μm sedimenterte på grunn av den ca. 24 timer lange gjennomsnittlige oppholdstiden i høydebassengene, som hadde en betydelig stabiliserende effekt på partikkelinnholdet i vannet som ble sendt ut på distribusjonsnettet.
- Både partikkeltellingene og turbiditetsmålingene indikerte et etterslep av partikler i rentvannet ut fra høydebassengene som varte i 3-4 dager etter at ett av disse hadde blitt rengjort, men partikkeltellingene gjorde det mulig å tidfeste dette etterslepet mer nøyaktig.
- Partikkeltellingene indikerte at konsentrasjonen av partikler i rentvannet når det nådde abonnenten var omtrent dobbelt så høyt som ut fra anlegget. Økningen kan skyldtes avrivning av biofilm under transporten i distribusjonsnettet og/eller rustpartikler fra korrosjon på ledningsnettet eller sand fra nedbrutt sementmørtel.
- Resultatene antyder at denne typen partikkeltellinger med det mobile instrumentet vi brukte, ikke er egnet til å indikere tilstedeværelse av fekal forurensning på grunn av høy bakgrunnsstøy. Når normalkonsentrasjonen av partikler i de størrelsesområdene som svarer til størrelsen til typiske indikatororganismer for fekal forurensning ligger nær grenseverdien for drikkevann, vil denne typen partikkelmålinger kunne være mer hensiktsmessig for dette formålet. Dette gjelder for eksempel ved behandling av grunnvann, som i utgangspunktet er renere eller etter nanofiltrering av vann, noe man har erfaring fra ved utenlandske vannverk der det er installert faste målere for kvalitetssikring av

vannkvalitet (i området 0 partikler/ mL i følge av leverandøren).

- Partikkelmåling viste seg å være mer følsom enn turbiditetsmåling særlig ved lavt partikkelinnholdet og nær deteksjonsgrensen til turbiditetsmåleren. Turbiditet er mindre egnet til å evaluere anleggets behandlingsevne.
- Partikkeltelleren har også andre potensielle bruksområder i vannforsyningssystemet som ikke er nevnt i denne artikkelen, men som bør undersøkes.

Referanser

Kleizen H.H., de Putter A.B., van der Beek M. and Huynink S.J. (1995) Particle concentration, size and turbidity. *Filtration & Separation*, Oct 1995, p. 897-901.

Gelderblom H.R. (1996) Structure and classification of viruses. In: Samuel Blaron (ed.) *Medical Microbiology*. 4th Ed. Chapter 41. University of Texas Medical Branch at Galveston.

Wikipedia 1 <https://en.wikipedia.org/wiki/Bacteria>; besøkt sist 27.04.20

Wikipedia 2 <https://en.wikipedia.org/wiki/Cryptosporidium>; besøkt sist 27.04.20

Keserue H.-A., Fuchslin H.P. and Egli T. (2011) Rapid detection and enumeration of *Giardia lamblia* cysts in water samples by immunomagnetic separation and flow cytometric Analysis. *Appl. Environ. Microbiol.*77(15), p. 5420-54.27.