



Overvåkning av vannkvalitet på distribusjonsnett - Erfaringer fra bransjen



Norsk Vann Rapport

Det utgis tre typer rapporter:

Rapportserie A

Dette er de opprinnelige hovedrapportene.

Dette kan være:

- Rapportering av prosjekter som er gjennomført innenfor organisasjonens eget prosjektsystem
- Rapportering av spleiselagsprosjekter hvor to eller flere andelseiere i Norsk Vann BA samarbeider for å løse felles utfordringer
- Rapportering av prosjekter som er gjennomført av andelseiere eller andre.
Rapporten vil i slike tilfeller kunne være en ren kopi av originalrapporten eller noe bearbeidet

Fortløpende nummer xx-årstall

Rapportserie B

Dette er en serie for «enklere» rapporter, for eksempel forprosjekter, som vil være grunnlag for videre prosjektvirksomhet mm.

Fortløpende nummer Bxx-årstall

Rapportserie C

Dette er rapporter delfinansiert av Norsk Vann, men som er utgitt av andre.

Fortløpende nummer Cxx-årstall

Forsidefoto:

Tegning av Amund Doseth Bjorli

Trenchless Photo Gallery - NASTT



Norsk Vann BA, Vangsvegen 143, 2321 Hamar
Tlf: 62 55 30 30 E-post: post@norskvann.no
www.norskvann.no



Prosjekresultatene fra Norsk Vann Rapport (serie A og B) kan fritt benyttes internt i egen organisasjon. Når prosjekresultatene benyttes i skriftlig materiale, må kilde oppgis. Videre salg/ formidling av resultatene utover dette er kun tillatt etter skriftlig avtale med Norsk Vann BA.

Norsk Vanns rapporter utarbeides i samspill mellom rådgiver, styringsgruppe og referansegruppe for prosjektet og er ikke behandlet i Norsk Vanns styrende organer. Norsk Vann har ikke ansvar for feil eller ufullstendigheter som måtte forekomme i rapporten og kan ikke stilles økonomisk eller på annen måte til ansvar for problemer som måtte oppstå som følge av bruk av rapporten.

Norsk Vann Rapport

Ekstrakt

Det er ønske om bedre overvåkning og mer kunnskap om hvordan drikkevannsvannkvaliteten påvirkes av forhold i distribusjonssystemet. Dagens rutineovervåkning med tradisjonelle dyrkingsmetoder er stikkprøvebasert og gir begrenset informasjon om systemet.

Rapporten oppsummerer erfaringer fra vannverk i Norge som har tatt i bruk ulike metoder for å overvåke vannkvaliteten på distribusjonsnett. Dette inkluderer daglig automatisk analyse av koliforme bakterier eller *E. coli* med Colifast ALARM, telling av totalantall bakterier hver 3-6 time med online flowcytometer (Bactosense), online måling av trykk, temperatur og turbiditet, samt stikkprøver som analyseres for ATP. I tillegg er det oppsummert erfaringer fra sammenstilling av historiske vannkvalitetsdata, mer kompliserte metoder som gir informasjon om bakteriesammensetningen (DNA-sekvensering) og om muligheter ved bruk av maskinlæring. Rapporten inneholder også andre relevante erfaringer som suksessfaktorer for å lykkes med prosjekter, nyttige vurderinger før innkjøp av nye instrumenter og konkrete eksempler på tolkning av analysedata fra problemstillinger hos vannverkene.

Generelt er erfaringene at bruk av nye overvåkningsmetoder gir økt kunnskap og bevissthet rundt vannkvaliteten, og kan bidra til å avdekke tekniske feil og svakheter som gir økt risiko for forurensning. Selv relativt enkle instrumenter kan gi verdifull innsikt i vannforsyningssystemet, dersom resultatene sees i sammenheng med øvrige driftsdata (rutineprøver, hendelser, vannmengder og trykk), og dersom det settes av nok ressurser til oppfølging.

Norsk Vann BA

Adresse: Vangsvegen 143, 2321 Hamar
Telefon: 62 55 30 30
E-post: post@norskvann.no
Internettadresse: norskvann.no

Rapportens tittel

Overvåkning av vannkvalitet på distribusjonsnett
– Erfaringer fra bransjen

Forfatter

Urd Ingunn Eriksen, Bergen Vann

Rapportnummer: 279/2023

ISSN 1890-8802 (elektronisk utg.)

ISBN 978-82-414-0477-1

Rapporten er kun publisert elektronisk

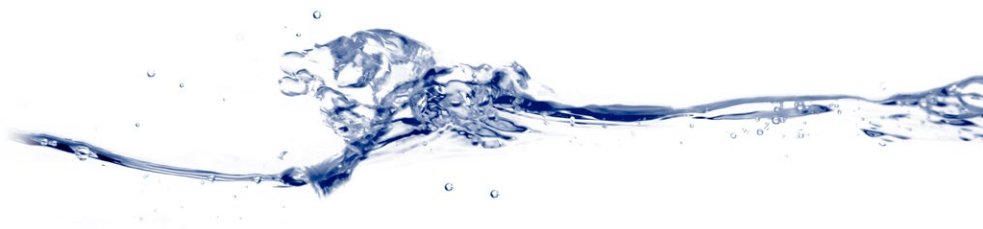
Emneord, norsk

Vannkvalitet, overvåkning, sensorer, drikkevann, forurensning, praktiske erfaringer

Emneord, engelsk

Water quality, surveillance, sensors, drinking water, contamination, operational experience

Forord



Målet med dette prosjektet var å sammenstille erfaringer fra norske kommuner som har testet ulike metoder for overvåkning av vannkvalitet på distribusjonsnettet.

Hva forteller de ulike metodene om vannkvaliteten, og hva krever de av kompetanse og oppfølging? En viktig del av prosjektet var å skape et forum for deling av kunnskap mellom vannverk som har, eller ønsker å få, erfaringer med slike metoder.

Urd Ingunn Eriksen fra Bergen

Vann har vært primus motor for prosjektet og har skrevet denne rapporten. Hun har fått god hjelp fra styringsgruppen som bestod av:

- Paula Pellikainen, Bergen Vann
- Lisbeth Sloth, Bærum kommune
- Unni S. Lea, IVAR IKS
- Ane H. Kjenseth og Ingvild F. Ullmann, Oslo VAV
- Margrethe Husebø, Drammen kommune
- Karen H. Buan, Trondheim kommune

Øvrige bidragsytere: Bjørn Skulstad, Ålesund kommune og Randi M. Aamodt, Nordre Follo kommune.

Som en del av prosjektet ble det arrangert en workshop med vannbransjen i mars 2022. Tilbakemeldingene fra denne var at mange ønsker seg konkrete eksempler på

hvordan man kan få mest mulig ut av dataene som allerede samles inn i forbindelse med driften. For det finnes ikke en enkeltsensor som kan garantere trygt drikkevann, men økt fokus på vannkvalitet, og sammenstilling av ulik informasjon, gir bedre forståelse av systemet og nyttig kunnskap i arbeidet med å sikre trygt og godt drikkevann.

Rapporten viser hvordan ulike metoder for overvåkning av vannkvalitet kan bidra til å gi en bedre kontroll og forståelse av distribusjonssystemet.

Tusen takk til Urd og resten av styringsgruppen som har delt sine erfaringer. Vannbransjen er heldige som har aktører som brenner for å samle ny kunnskap og som deler denne. Vi håper rapporten kan bidra til å inspirere og senke terskelen for å ta i bruk nye metoder for overvåkning av drikkevannskvalitet, der det vurderes hensiktsmessig ut fra kost-nytte, som et nyttig supplement til rutineovervåkingen.

Oslo, september 2023
Ingun Tryland, Norsk Vann

Sammendrag

Det er ønske om bedre overvåkning og mer kunnskap om hvordan drikkevannsvannkvaliteten påvirkes av forhold i distribusjonssystemet. De tradisjonelle dyrkningsmetodene er tidkrevende, stikkprøvebasert og gir begrenset informasjon om systemet. Med utfordringer som kjente, sårbare punkter i vannforsyningen (f. eks høydebasseng), trykkløse hendelser i et utett ledningsnett og kundeklager angående farge, lukt og smak, er det et ønske om å utvikle og bruke nye metoder og måter for å overvåke distribusjonsnettet.

Utviklingen på online-deteksjon av mikrobiell forurensning går fremover, men det er hverken i dag eller i umiddelbar fremtid en enkel metode som gir en fullgod overvåkning av om drikkevannet er trygt til enhver tid. Likevel kan nye metoder gi oss mye mer informasjon enn vi sitter på i dag. For å utnytte dette er det behov for utprøving og bruk av disse metodene i praksis.

Prosjektet hadde som mål å hente inn erfaringer med bruk av online-målinger på distribusjonsnettet i Norge. Konklusjonen er at det per nå ikke er utbredt bruk av avansert overvåkning på drikkevannsnettet i Norge, selv i de store kommunene. Det var derfor ønskelig å sammenstille erfaringer som er gjort for å gi bransjen et bedre grunnlag for å arbeide videre mot økt overvåkning av drikkevannskvalitet, og ikke minst unngå metoder som gir lite utbytte.

Erfaringene fra styringsgruppen viser at når vi setter i gang med å lete etter svakheter og sammenstille data, får vi ny kunnskap, forståelse og oppdager potensielle områder for forbedringer. Selv enkle instrumenter kan gi verdifull innsikt i vannforsyningssystemet, dersom vi ser data i sammenheng f.eks. opp mot kjente driftsdata (rutineprøver, hendelser, vannmengder og trykk).

Det er derfor kanskje ikke nødvendig å finne en avansert, ideell sensor, men å sørge for tilstrekkelige ressurser som kan identifisere de enkle tiltakene for å forbedre vannforsyningssystemet. Fordi sensorene vil være et supplement til rutineovervåkingen, så trenger de ikke nødvendigvis å avdekke fortynnet forurensning, men avdekke de tekniske svakheter/feil i systemet vårt som gir risiko for forurensning. Vi må være klar over ulike metoder og sensorer sine begrensninger, men ikke la det hindre oss i å bevege oss mot mer strategisk overvåkning.

Styringsgruppen mener det er mye å hente på samarbeid mellom ulike fagfelt, kompetanseheving og utnyttelse av eksisterende informasjon for å avdekke enkle tiltak for å gi økt sikkerhet i vannforsyningen. Dette krever dedikert personell som har tid til å fordype seg i datamaterialet.

Sensorer som er beskrevet i rapporten er automatisert daglig analyse av koliforme bakterier eller *E. coli* med Colifast ALARM, telling av totalantall bakterier hver 3-6 time med online flowcytometer (Bactosense), online måling av trykk, temperatur og turbiditet, samt stikkprøver som analyseres for ATP. I tillegg er det oppsummert erfaringer som går på sammenstilling av historiske vannkvalitetsdata, mer kompliserte metoder som gir informasjon om bakteriesammensetningen (DNA-sekvensering) og om muligheter ved bruk av maskinlæring. Rapporten inneholder også andre relevante erfaringer som suksessfaktorer for å lykkes med prosjekter, nyttige vurderinger før innkjøp av nye instrumenter og konkrete eksempler på tolkning av analysedata fra problemstillinger hos vannverkene.

English summary

**This report is published in Norwegian by
Norwegian Water BA (Norsk Vann BA).**

Address: Vangsvegen 143, NO-2321 Hamar, Norway
Phone: + 47 62 55 30 30
E-mail: post@norsk vann.no
Website: www.norsk vann.no

Report no: 279/2023
Report title: Monitoring of water quality in
the distribution system
Date of issue: September 2023

Author: Urd Ingunn Eriksen

There is a need for improved monitoring and more knowledge about how the drinking water quality is affected by conditions in the distribution system. The traditional cultivation methods are time-consuming and provide limited information about the system. With challenges such as known, vulnerable points in the distribution system and complaints regarding colour, smell and taste, use of new methods to monitor the water quality are requested.

No simple online sensor will give a complete picture of the risk of contamination. Nevertheless, new methods can give us more information than we currently have. In order to exploit this, there is a need for testing and using these methods in practice. The aim of this project was to collect experience with the use of online monitoring of the drinking water quality in the distribution system in Norway. Currently, there is no widespread use of such monitoring, even in the large municipalities, but some experiences are collected in the report. This includes automated daily analysis of coliform bacteria or *E. coli* with Colifast ALARM, counting of total cells every 3-6 hours with online flow cytometer (Bactosense), online measurement of pressure, temperature and turbidity, as well as grab samples analysed for ATP. In addition, experiences that are based on compilation of historical water quality data, more complicated methods providing information about the bacterial composition (DNA sequencing) and about the possibilities of using machine learning are summarized. The report also contains other relevant experiences such as success factors for projects, useful assessments before purchasing new instruments and examples of interpretation of data from monitoring in real cases in the municipalities.

In general, the waterworks conclude that use of new monitoring methods increases the knowledge and awareness of the water quality and can help to discover technical errors and weaknesses that increase the risk of contamination. Even relatively simple instruments can provide valuable insight into the water supply system if the results are seen in connection with other operational data (routine tests, incidents, water flows and pressure), and if sufficient resources are set aside to follow-up.

Innhold

1. Introduksjon til overvåkning av drikkevann på distribusjonsnett	10	3. Suksessfaktorer	33
1.1. Bakgrunn	10	3.1. Metodens muligheter og begrensninger	33
1.2. Hvordan bruke rapporten	10	3.2. Hva bør du tenke på?	33
1.3. Avgrensning	11	3.3. Vanlige fallgruver	35
1.4. Hvorfor trenger vi mer overvåkning?	11	3.4. Vanlige fordeler	37
1.5. Forurensning i det trykksatte distribusjonsnett	14	3.5. Viktigheten av forskning, utvikling og innovasjon i driftsmiljøet	38
1.5.1. Forekomst av vannbårne utbrudd	15	3.5.1. Kunnskap som tiltak	38
1.6. Vårt ansvar	16	3.6. Suksessfaktorer for prosjektgjennomføring i offentlig sektor	38
1.7. Hvordan overvåke?	16	3.7. Finansiering	39
1.8. Krav til metoden	17	3.8. Menneskelige ressurser	40
1.9. Den ideelle sensoren	19	3.9. Dele kunnskap	40
2. Erfaringer	21	4. Overvåkning i praksis	41
2.1. Enzymbasert metode: Colifast ALARM	21	4.1. Teknikker for innhenting av prøver	41
2.2. Flowcytometer: Bactosense	22	4.1.1. Biofilmmonitor	42
2.3. ATP	23	4.2. Parametere	42
2.4. Turbiditet	23	4.3. Feilkilder	42
2.5. Temperatur	24	4.4. Kraften i trender og online-overvåkning	43
2.6. Trykksensorer	25	4.5. Systematisering av data	44
2.6.1. Erfaringer med trykkmålinger fra Bergen	26	4.6. Planlegging for fremtiden	46
2.7. Konduktivitet	27	5. Hvordan tolke data	47
2.8. Multiparameter	27	5.1. Tips	47
2.8.1. Erfaringer fra Ålesund kommune:	27	5.2. Konkrete eksempler	48
2.9. Molekylærbiologiske metoder	27	5.2.1. Sporing av vannkvalitet gjennom systemet	48
2.9.1. DNA metabarcoding/mikrobiell kildesporing	27	5.2.2. Systematisering av historiske vannkvalitetsdata	50
2.9.2. 16S-sekvensering	28	5.2.3. Tolkning av flowcytometer-data	51
2.9.3. Erfaringer med gensekvensering av koliforme bakterier i Trondheim	29	5.2.4. Online-overvåkning av ukjent hendelse:	52
2.10. Vannets egenfluorescens	29	5.2.5. Høy forekomst av koliforme bakterier i Oslo	52
2.10.1. Erfaringer fra Nannestad kommune/Bærum kommune	29	5.2.6. IVAR: Enkel modell for beregning av oppholdstid	53
2.11. Mikroskopibaserte metoder (Digital Imaging)	29	6. Andre erfaringer	54
2.12. Risikobasert prøvetaking	30	6.1. Internasjonale erfaringer	54
2.12.1. Erfaringer med risikobasert prøvetaking i Bergen	30	6.1.1. Biomonitoring group – internasjonalt nettverk for bruk av biomonitorer	54
2.13. Eksisterende data, nye muligheter	31	7. Referanser	56
2.13.1. Maskinlæring	31	8. Vedlegg	58
2.13.2. Soft sensor	31	Tidligere utgitte rapporter	113
2.13.3. Modellering	31		
2.14. Sensornettverk/Internet of Things (IoT)	32		
2.14.1. Erfaringer fra Horten kommune	32		

Forkortelser, begreper og definisjoner

ATP: Adenosintrifosfat. Energibærer i alle levende celler.

Bergsprengt drikkevannsmagasin: Råsprengt fjellbasseng, fjellmagasin, høydebasseng i fjell etc. Entydig forklaring på magasin som benyttes til lagring av drikkevann.

Metode: I denne rapporten brukt som en fremgangsmåte for å innhente informasjon om drikkevannskvalitet.

Online: Viser her til utstyr som er koblet til selve vannstrømmen eller en delstrøm og logger verdier. Gir resultater i sanntid eller tilnærmet sanntid.

SCADA-system: Supervisory control and data acquisition. Styrings-system som kobler datamaskiner, nettverkskommunikasjon og overvåking av prosesser.

Sensor: Et instrument som registrerer omgivelsene, f.eks. elektromagnetisk stråling i en UV-sensor.

Sykdomsfremkallende agens: Stoffer som kan fremkalle sykdom som f.eks. virus, bakterier og parasitter.

Fekale indikatorbakterier: Bakterier som indikerer forekomst av fekal materiale (avføring). Indikasjon på at vannet kan inneholde sykdomsfremkallende mikroorganismer.

FCM: Flowcytometer. Et instrument som måler bakterieceller.

Opportunistisk patogen: Kan gi sykdom hos utsatte grupper med kraftig nedsatt immunforsvar.

Proxy: Målbar parameter som gir informasjon om eller brukes som et mål på en annen størrelse som man ikke har data på.

1. Introduksjon til overvåkning av drikkevann på distribusjonsnett

1.1. Bakgrunn

De siste tiårene er det lagt store ressurser i vannrense-teknologi og prosessovervåking av vannbehandlings-anleggene våre. Dette har ført til en betydelig sikring av drikkevannet i form av produksjonskontroll. Vi har derimot begrenset kunnskap om hva som skjer med vannet på veien videre frem til forbruker. Kontrollen med kvaliteten på drikkevannet er i dag stor grad stikkprøve-basert, ressurskrevende og analysene tar opptil flere dager. Med utfordringer som kjente, sårbare punkter i vannforsyningen (f.eks. høydebassenger), trykkløse hendelser i et utett ledningsnett og kundeklager (farge, lukt, smak), er det et ønske å se fremover mot nye måter å overvåke distribusjonsnett. Vi trenger nye verktøy for å forstå det vi ikke ser i dag.

Sensorer og nye målemetoder kan gi nyttig informasjon, men da er det viktig å vite hva som er lurt å måle på og hvordan man kan tolke resultatene. Det er mange aktører på markedet som promoterer produkter som de mener gir vannverkseiere en overvåkning som vil avdekke forurensning. NIVA-rapporten Hurtigmatmetoder for online deteksjon av mikrobiell forurensning i vann (Hultman & Wennberg, 2018) har systematisk gjennomgått ulike metoder og viser til at det per i dag ikke

finnes én løsning som kan overvåke om drikkevannet er trygt til enhver tid. Likevel kan nye metoder gi oss mye mer informasjon enn det vi får fra dagens rutineovervåkning.

Rapporten fra NIVA uttrykker et behov for å teste forskjellige online-sensorer og måleutstyr i praksis. Gjerne opp mot kjente driftsdata (f.eks. vannprøver, hendelser, vannmengder og trykk). Det var derfor ønskelig å sammenstille erfaringer som er gjort for å gi bransjen et bedre grunnlag for å arbeide videre mot økt overvåkning av drikkevannskvalitet og ikke minst unngå metoder som gir lite utbytte. Online eller semionline-instrumenter presenteres ofte som en «quick fix», men realiteten er at det krever kunnskap både om metode og distribusjonsnett samt tilstrekkelige ressurser for å gjøre slike vurderinger. Teknologiske nyvinninger kan løse mange problemer i teorien, men hvordan det fungerer i praksis er helt avgjørende for nytteverdien.

Denne rapporten har samlet erfaringer om hvordan vi kan få en bedre kontroll og forståelse av distribusjonsnett.

1.2. Hvordan bruke rapporten

Rapporten er hovedsakelig ment som en formidling av erfaringer med overvåkning av drikkevann på distribusjonsnett blant norske kommuner. I arbeidsgruppa har det kommet frem gode diskusjoner og betraktninger som kan være til hjelp for andre som ønsker å sette i gang med overvåkning. Derfor inneholder kapittel 3 – 5 informasjon basert på erfaringer som kan være nyttig. Til slutt er det oppsummert noen internasjonale erfaringer. Dersom du kun ønsker å lese om spesifikke erfaringer anbefales det å hoppe rett til kapittel 2.

Kapittel 1: Her er introduksjon og bakgrunn for hvorfor vi trenger mer overvåkning. Argumenter her kan brukes som grunnlag for beslutning om oppstart av prosjekter eller installasjon av sensorer.

Kapittel 2: Spesifikke erfaringer fra kommuner som har testet ulike løsninger for overvåkning av drikkevann på distribusjonsnett. For detaljer ligger vedlegg bakerst i rapporten med kontaktinfo til de som har erfaringer.

Kapittel 3: Oversikt over hva som er viktig å tenke over før man setter i gang med overvåkning i praksis.

Kapittel 4: Informasjon om ulike metoder. For å gi mer kunnskap og innsikt i muligheter og begrensninger.

Kapittel 5: Guide til tolkning av data.

Kapittel 6: Internasjonale erfaringer.

1.3. Avgrensning

Rapporten omtaler overvåkning av distribusjonsnettet for drikkevann utover den lovpålagte prøvetakingsplanen.

Nyttige kilder/rapporter:

- NIVA-rapport: Hurtigmetoder for online deteksjon av mikrobiell forurensning i vann (Hultman & Wennberg, 2018).
- Norsk Vann-rapport 244/2018: Veiledning i utarbeidelse av prøvetakingsplan for drikkevann.
- Norsk Vann-rapport 270/2022: Helsemessig sikker drift av vannledningsnettet – prosedyrer og anbefalinger.
- Bok: Microbiology of Drinking Water Production and Distribution (Bitton, 2014).

1.4. Hvorfor trenger vi mer overvåkning?

Drikkevannsforskriften skal beskytte menneskers helse

Som eiere av vannforsyningsinfrastruktur er vi underlagt strenge krav. Drikkevannsforskriften (DVF) setter krav til vannverkseier for å beskytte menneskers helse ved å sikre helsemessig trygt drikkevann (DVF § 1). Forskriften har særlig fokus på mikroorganismer siden disse kan ha svært lave smittedoser, altså at det skal svært lite til for å gi sykdom. Paragraf 5 er tydelig på at drikkevannet ikke skal inneholde mikroorganismer eller stoffer som kan utgjøre helsefare (a). I tillegg skal drikkevannet overholde gitte grenseverdier (b).

Vannverkseieren skal sikre at drikkevannet er helsemessig trygt, klart og uten fremtredende lukt, smak og farge. Drikkevannet skal

- a) ikke inneholde virus, bakterier, parasitter, andre mikroorganismer eller stoffer som i antall eller konsentrasjon utgjør en mulig helsefare og
- b) overholde grenseverdiene i vedlegg 1.

Fra DVF § 5

Eieren av internt fordelingsnett skal sikre at det interne fordelingsnettet er i tilfredsstillende stand, og at det ikke bidrar til at drikkevann i distribusjonssystemet blir forurenset.

Fra DVF § 15

Forskriften setter minstekrav til antall drikkevannsprøver på vannforsyningssystemet. Tradisjonelle vannprøver er en viktig del av kvalitetssikringen av vannforsyningssystemet, men det er viktig å være klar over hvor forsvinnende liten del av vannet som blir analysert. Prøvetakingen består av manuelle stikkprøver som tas ukentlig eller sjeldnere på utvalgte punkter i systemet.

«Rutinemessig overvåkning er et viktig tiltak for å kontrollere at vannforsyningen driftes i henhold til regelverk, men rutineovervåking gir bare et øyeblikksbilde av vannkvaliteten og avdekker ikke alle situasjoner som kan medføre smitte i ledningsnettet»

(Folkehelseinstituttet, 2018)

De lovpålagte kravene blir også strengere. Et eksempel på dette er EUs nye drikkevannsdirektiv som kom i 2020 (EØS-notat, 2022).

I arbeidet med å sikre trygg vannforsyning trenger vi mer enn rutineprøver. Det handler ikke bare om å følge krav til antall prøver eller oppdage forurensnings-episoder, men å sikre god prosessstyring og drift av nettet. Regelverket stiller også krav til vannverkseier om å gjøre egne vurderinger om hva som er godt nok, både med hensyn til kunnskap, sikkerhet og tiltak. Dette fordrer at vi forstår systemet vårt. Ved å bruke nye verktøy kan vi gjøre bedre risikovurderinger, feilsøking og gjøre forbedringer for å både være i forkant av mulige forurensninger, men også ta gode beslutninger i en bransje med enormt investeringsbehov fremover (Bruaset, Becker, Reksten, & Baade-Mathiesen, 2021).

Svakheter med tradisjonell prøvetaking

Tradisjonell prøvetaking har mange svakheter. Rapporten *Uavhengig gransking av hendelse ved Kleppe vannverk 2019* (Eikebrokk mfl., 2021) kommer med følgende anbefaling til vannverksbransjen:

24. Være klar over rutineprøvetakingens funksjon og begrensinger – så vidt granskingsgruppen kjenner til har rutineprøver sjelden eller aldri fungert som detektor for vannbårne sykdomsutbrudd.

25. For å kunne gi tidlig varsling av avvikende vannkvalitet med fare for sykdom, bør vannverkene vurdere installasjon av kontinuerlige mikrobiologiske målesystemer med innlagte varslings- og alarmgrenser, eksempelvis basert på flowcytometri for totale og intakte bakterier, ATP-målinger for innhold av energibærere i mikroorganismer, eller tilsvarende.

En stor svakhet med tradisjonell prøvetaking er at den er stikkprøvebasert og derfor representerer en liten del av vannet vi leverer til forbrukerne. I Bergen kommune tas det for eksempel årlig ut 1 760 prøver på distribusjonsnettet, noe som kanskje høres mye ut. Med et standard prøvevolum på 0,5 liter er det ca. 900 liter som blir analysert i året. Med et produsert volum på nærmere 33 millioner kubikkmeter vil det si at det analyseres under 1 liter vann for hver 33 millioner liter levert. Sammenlignet med et olympisk svømmebasseng vil det tilsvare under en desiliter. Det gir oss med andre ord et svært begrenset bilde av situasjonen.

Andre utfordringer med manuelle stikkprøver er f.eks.:

- Lang tid mellom hver prøve
- Må fysisk hentes av personell
- Frakt og håndtering
- Manuell analyse ved laboratorium
- Risiko for menneskelig feil
- Tid fra prøvetaking til resultat (opptil flere dager)
- Ressurskrevende
- Tas gjerne på samme tid hver uke/måned under ideelle driftsforhold på samme sted
- Punktene flyttes sjelden
- Store befolkningsområder ikke dekket av vannprøvepunkt
- Sporadiske funn er lett å avfeie som metodefeil
- Falsk trygghet
- Lav sannsynlighet for å gjenta med omprøver
- Ofte tungvint dataflyt (manuell tasting, varslingsrutiner, etc.)

På vannbehandlingsanleggene våre tas det manuelle stikkprøver, men i tillegg er det gjerne installert kontinuerlige målere for f.eks. turbiditet, farge og UV-transmisjon. Disse kan gi oss et sanntidsbilde av produksjonsprosessen, f.eks. at filterne fungerer som de skal eller brå endringer i råvannskvalitet som krever høyere dosering. Dette gjør at vi kan justere prosessen raskt og se effektene med en gang.

Det kan være mye å hente på å samle utfyllende informasjon også på distribusjonsnettet med kontinuerlige/semikontinuerlige målinger. Disse trenger ikke å gi oss en fasit på om vannet er forurenset eller ikke, men om det har skjedd endringer.

Eksempler:

- Avdekke sporadiske hendelser
- Trender over tid
- Kobling mot andre data (driftsdata: mengder, trykkvariasjon, nedbør, klager, temperatur, grunnvannstand etc.)
- Tilleggsinfo ved hendelser, f.eks. geografisk utbredelse

På denne måten kan vi lære mer om svakhetene på veien fram til forbruker og gjøre målrettede tiltak.

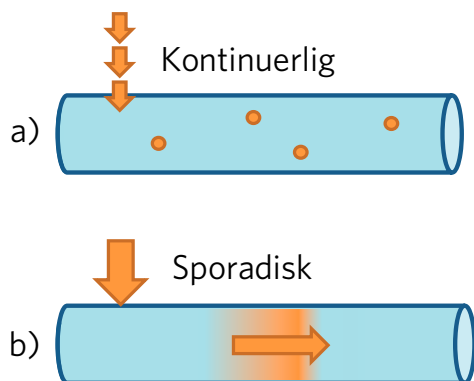
Hvilke forurensninger er vanlige og hvilke klarer vi å oppdage?

Hovedoppgaven til distribusjonsnettet er å frakte vann fra vannbehandlingsanlegget til forbruker uten at det blir forringet på veien. Med et aldrende ledningsnett er det likevel mye som kan skje underveis. Noen mulige årsaker til forringet vannkvalitet er:

- Innsug av forurenset vann ved trykkløst nett
- Utilsiktet tilførsel av fremmedvann fra abonnenter (feilkobling, manglende tilbakeslag, etc.)
- Tilsiktet tilførsel av fremmedvann fra abonnenter (rampestreker, ønske om å gjøre skade, terror etc.)
- Tilførsler av fekal materiale i høydebasseng (innlekking, dyr, etc.)
- Forurensning i forbindelse med arbeid på ledningsnettet
- Lukt/smaksproblem
- Forringelse av vannkvalitet ved korrosjon
- Slamdannelse

Som Sintef (Eikebrokk mfl., 2021) påpeker er de 4-5 første kategoriene over av en natur som gjør at de inntreffer sporadisk og relativt sjelden. De kan derimot få store konsekvenser når de først skjer. Selv kortvarige trykkfall (sekunder til minutter) kan føre til innsug av omkringliggende forurensninger som fraktes som en plugg videre i ledningsnettet, siden vannet er i kontinuerlig bevegelse (se figur 1b). Å oppdage slike hendelser vil være svært vanskelig siden de er forbigående, sporadiske og kan forekomme hvor som helst i ledningsnettet og når som helst på døgnet.

Vi kan altså ikke bruke de lovpålagte rutineprøvene som et bevis på at det ikke forekommer slike hendelser av kortvarig og tilfeldig karakter (Eikebrokk mfl., 2021). Det er også betenkelig at vi ofte bruker omprøver for å verifisere resultatet av sporadiske funn på nettet, når slike hendelser kun gir kortvarig forurensning, som illustrert i figur 1.



a: kontinuerlig tilførsel av forurensning.

b: sporadisk tilførsel av forurensning, f.eks. ved innsug. Forurensningen kan ses på som en plugg som er forbigående.

Figur 1: Illustrasjon av ulike typer forurensning.

Drikkevannsforskriften setter krav til at vannverkseier skal identifisere farer i drikkevannsforsyningen (DVF § 6). Med kunnskapen over er det ønske om nye verktøy som i større grad kan avdekke disse farene.

Vannverkseieren skal identifisere farene som må forebygges, fjernes eller reduseres til et akseptabelt nivå for å sikre levering av tilstrekkelige mengder helsemessig trygt drikkevann som er klart og uten fremtredende lukt, smak og farge. (...)

Fra DVF § 6

Hvordan store vannbårne utbrudd kan skje

Siden drikkevann leveres til tilnærmet alle mennesker i et område, kan vannbåren sykdom ramme svært mange mennesker samtidig. Selv om mange i befolkningen vil kunne tåle «magesyke» godt, vil vann forsynt til flere tusen mennesker også kunne kreve mange sykehusinnleggelser og i verste fall dødsfall hos mennesker med eksempelvis svekket immunforsvar. Dette kan være med på å overbelaste helsetjenestene og dermed ha konsekvenser utover selve sykdomsutbruddet som erfart under koronapandemien som startet i 2020.

Det kan være intuitivt å tenke at det skal store mengder forurensning til for å ramme store områder, men smitte fra mikrobiologisk forurensning (f.eks. fra avføring) er så «effektiv» at selv ved flere hundre tusen ganger fortykning kan det være helsefarlig. En gjennomgang av store vannbårne utbrudd (Hrudey & Hrudey, 2019) påpeker at de ansvarlige for drikkevannet ofte har oversett eller misforstått utbredelsen av fekal forurensning og i de tilfellene det er påvist forurensning: ikke har forstått helserisikoen knyttet til selv lave doser fekal forurensning. Det nevnes også at det i flere tilfeller er undervurdert at avføring fra dyr kan inneholde smittestoffer som kan forårsake sykdom hos mennesker.

Derfor er det viktig at VA-personell har kunnskap om hvor lite forurensning som faktisk skal til for å føre til store sykdomsutbrudd.

Hvor lite forurensning skal til?

Drikkevannsforskriften setter krav til fekal indikatororganismer som kan indikere tilstedeværelse av fekal forurensning. Lovverket har en grenseverdi på 0 for *E. coli*. Dette er ikke fordi et par *E. coli* nødvendigvis i seg selv er farlig, men fordi selv lave konsentrasjoner indikerer at vannet har vært i kontakt med avføring. Da kan det være sykdomsfremkallende agens til stede som kan ha lav smittedose, altså at det skal få bakterier til for å gi sykdom. Vannprøver under Askøyutbruddet viste fra 1-9 *E. coli* per 100 mL (5 *E. coli* ved det forurensete høydebassenget) (Eikebrokk mfl., 2021). Sykdomsutbruddet skyldtes bakterien *Campylobacter* fra innlekking av forurenset vann med avføring fra ville fugler eller dyr. I overkant av 2000 mennesker ble syke og 76 innlagt på sykehus.



Figur 2: En måkeskit er alt som skal for å forårsake et vannbårent utbrudd, så lenge den inneholder patogene bakterier i høye nok konsentrasjoner. Foto: U. Eriksen.

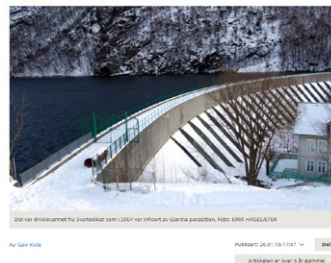
Infiserte dyr eller mennesker kan potensielt skille ut enorme mengder smittestoff gjennom avføringen. Dette gjør at selv svært store fortykninger kan gi sykdom. En måke skiller ut rundt hundre millioner *E. coli* per gram avføring. 1 g fortynnet i 1 000 liter vann vil dermed gi

100 000 *E. coli* per liter. Det kan altså være så lite som 0,2 g avføring (tilsvarende vekten av fire dråper vann) som skal til for å gi forurensning i et basseng på størrelse 400 m³ som ved Askøy i 2019. For referanse kvitter en måke seg med ca. 6 gram avføring per dag. Mengden sykdomsfremkallende bakterier (*Campylobacter*) i måkeavføring varierer fra ikke påvist (de fleste undersøkte måker) og opp til over ti millioner per gram avføring (Tryland, et al., 2016).

I rapporten etter Giardia-hendelsen i Bergen i 2004 kom det frem at det i prinsippet kun skal en infisert person til å forurense en hel vannkilde, dersom smitten kunne transporteres effektivt ut i kilden (Johansen, Seim, & Gjesdal, 2005). Det vannbårne utbruddet som rammet mellom 4000 - 6000 mennesker ble ikke avdekket gjennom rutineprøver som *E. coli*, fordi klor fungerer effektivt mot bakterier. Klor virker derimot dårlig på parasitter og siden det ikke måles rutinemessig for Giardia ble ikke hendelsen oppdaget før folk ble syke. (*Clostridium perfringens* ble derimot funnet med jevne mellomrom i lave verdier (1-4 bakterier per 100mL) i perioden under utbruddet. *Clostridium* kan danne klorresistente sporer).

Det er meldt om mange tilfeller av langvarige helseplager etter Giardia-utbruddet i 2004 og senest i 2016 fikk en kvinne erstatning på flere millioner kroner (Kvile, 2016). Forsikringen til kommunen på opptil 30 millioner ble brukt opp allerede i 2011 (Valaker, Flaaten, & Dregelid, 2012).

Kvinne (55) tilkjent tre millioner kroner fra kommunen etter å ha blitt smittet av Giardia



Figur 3: Faksimile fra Bergensavisen, 2016.

Internasjonalt er hendelser som Nokia, Finland 2007 og Northampton, Storbritannia 2008 eksempler på forurensninger på distribusjonsnett med mange berørte (Moreira & Bondelind, 2017). I sistnevnte hendelse ble det funnet en død kanin i et basseng som forsynte 250 000 mennesker.

For informasjon om vanlige verdier av *E. coli* og patogener fra mennesker og dyr anbefales tabell E.1 og E.2 i NIVA-rapport Forurensningsanalyse Farrisvannet (Tryland, et al., 2016).

For kjemisk forurensning vil fortynningsfaktoren være en større beskyttelse enn ved mikrobiologisk forurensning. Det finnes likevel mange eksempler på kjemisk forurensning på distribusjonsnett. Eksempler er tilbakeslag, feilkoblinger og feildosering på vannbehandlingsanlegget.

1.5. Forurensning i det trykksatte distribusjonsnett

Det er mange utfordringer med distribusjonsnett for drikkevann i Norge. Riksrevisjonen har konkludert med at myndighetene ikke har gjort nok for å redusere lekkasjer og fornye ledningsnett for drikkevann (Riksrevisjonen, 2023). Risikoen knyttet til åpne vannspeil på distribusjonsnett krever en annen tilnærming enn forurensning på selve ledningsnett siden de er trykkløse.

For at forurensning skal skje på de trykksatte delene av distribusjonsnett må flere sammenfallende forhold være til stede. Det må være et sted forurensningen kan

komme inn (1), det må være en forurensning til stede i området rundt (2) og det må være høyere trykk utenfor ledningen enn inni (3). Under er det gitt eksempler på slike forhold. Med et svært omfattende ledningsnett, gjerne flere hundre kilometer i en kommune, vet vi at disse forholdene inntreffer ofte. At disse forholdene opptrer samtidig, er derfor sannsynlig med jevne mellomrom i alle distribusjonsnett. Sannsynligvis skjer forurensning oftere enn vi tror (Guzman-Herrador, et al., 2016), men noen beskyttende faktorer (punkt a. under) kan gjøre at vi ikke oppdager disse.

1. Steder der forurensning kan komme inn:

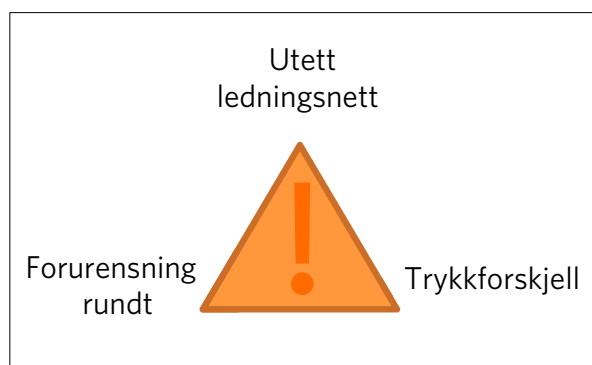
- I snitt 30% lekkasjer i Norge – dvs. vi har mange steder vannet renner ut og dermed mulighet for å komme inn
- Utette brannkuler/brannventiler
- Dårlige koblinger
- Manglende/dårlige tilbakeslagsventiler
- Ved arbeid på ledningsnett

2. Forurensning rundt:

- Fellesgrøfter med utett avløpsnett
- Overvann over brannkuler/i kummer med dårlig kobling (hundeskit)
- Felleskum (avløp)
- På andre siden av tilbakeslagssikringer (avløps-pumpestasjoner, gårdsbruk, prosessvann etc.)
- Feilkoblinger f.eks. mot private brønner, prosessvann, kjølevann, sprinkleranlegg, og i verste fall avløp)

3. Trykkdifferanse:

- Endring i vannstrøm
- Ledningsbrudd
- Stort vannuttak
- Pumpestopp/strømutfall
- Ventilstengninger
- Trykkstøt
- Friksjonstap (ved høy vannføring og tilhørende høyt friksjonstap kan det bli undertrykk i vannledninger, se figur 15)
- Større fare i endeledninger
- Topografi – høydebrekk
- Høy vannstand i kum



a) Beskyttende faktorer:

- Forurensningen må inneholde sykdomsfremkallende organismer/agens for å gi sykdom
- Omkringliggende vann er ofte drikkevann dersom det er mye lekkasjer?
- Fortynningseffekt
- Mageproblem relativt utbredt – vann ikke mistenkt? Ikke alvorlig nok?
- Må ramme større områder for at det skal avdekkes som et vannbåret utbrudd
- Innsug kan skje langt fra bruddområdet
- Kan ikke bekrefte i omprøver etter at vannet er levert til forbrukere

For eksempel vil en utett ledning (1) i en grøft fylt med avløpsvann (2) ikke gi forurensning så lenge det er overtrykk på ledningen (3). Redusert vannkvalitet skyldes som regel teknisk svikt i flere ledd. Et aldrende distribusjonsnett medfører ikke bare lekkasjetap og fare for avbrudd i vannforsyningen, men også en høyere risiko for forurensning og helsefarlig vann.

1.5.1. Forekomst av vannbårene utbrudd

Når vi vet hvor lite forurensning som skal til og hvor mange svakheter vi har i systemet, kan det kanskje virke rart det ikke skjer oftere – eller gjør det det? Vannledningsbrudd og arbeid på distribusjonsnett har vist seg å øke risikoen for mage-tarmsykdom hos abonnentene (Nygård, et al., 2007). Vannbårene utbrudd er sannsynligvis underrapportert. Sjansen er lav for å oppdage utbrudd i mindre vannforsyningssystem eller i perifere deler av store vannforsyningssystem (Guzman-Herrador, et al., 2016). Også alvorlighetsgraden av sykdommen vil avgjøre om det oppdages. Mer alvorlige symptomer fører til flere henvendelser til helsetjenesten og antallet må være høyt før helsetjenestene oppdager en sammenheng geografisk som kan lede mistanken til drikkevann som smittekilde. Evalueringene av hendelser som Røros i 2007 og Askøy i 2019 understreker viktigheten av å fokusere på å sikre distribusjonsnett for drikkevann, både gjennom oppgraderinger, sikre driftsrutiner, avdekke trykkløse episoder og overvåkning av vannkvalitet (Jakopanec, et al., 2008) (Eikebrokk mfl., 2021).

For å få mer innsikt i utbredelse av vannbåren sykdom har Folkehelseinstituttet satt i gang et prosjekt (Drikkevannsstudien, 2016-2024) for å undersøke hvilken grad drikkevann forårsaker sykdom i Norge.

1.6. Vårt ansvar

Drikkevannsforskriften legger et stort ansvar på vannverkseier. Vi må identifisere farer og gjøre tiltak som forebygger, fjerner eller reduserer faren til et akseptabelt nivå. Med kunnskapen vi har om svakhetene

med tradisjonell prøvetaking, forholdene på distribusjonsnettet som utgjør en fare og de store konsekvensene vannbårne utbrudd kan ha, har vi en plikt til å identifisere og gjøre tiltak.

1.7. Hvordan overvåke?

Lite kunnskap – mye å hente

Det er tydelig at vi trenger økt fokus på distribusjonsnettet for drikkevann. Ikke bare for å sørge for helsemessig trygt drikkevann, men for å gjøre de riktige prioriteringene i de enorme ressursene som må legges inn de neste årene for å fornye distribusjonsnettet. Ved å ta i bruk nye metoder og overvåkning kan vi forhåpentligvis få både kunnskap og verktøy for å gjøre gode valg. Det kan være vanskelig å sette i gang med dette arbeidet siden distribusjonsnettet er så omfattende og problemstillingene så komplekse, men en fordel med at vi vet så lite er at vi kan lære mye selv ved enkle metoder.

Siden det ikke er en løsning som løser alle utfordringene våre, må vi dele problemstillingene opp og fokusere på enkelte områder. Det er også viktig å være klar over hvilke strategier som egner seg for det vi ønsker å oppnå. I kapittel 2 er det oppsummert erfaringer fra bransjen som illustrerer ulike problemstillinger og verktøy.

Typer overvåkning

Som tidligere nevnt er det mange begrensninger med ordinær prøvetaking. Det er ikke aktuelt å slutte med dette, men ved å supplere med utvidet overvåkning, både generell og spesifikk, vil vi kunne gjøre forbedringer i vannledningsnettet som vil øke sikkerheten i vannforsyningen.

På vannbehandlingsanlegget har man produktkontroll i rutineprøver, prosesskontroll med ulike sensorer som turbiditet og farge og noen prosjekter der man bruker nye metoder f.eks. under BARRINOR der man måler empirisk barrierehøyde.

Overvåkning av distribusjonsnettet for drikkevann kan ha ulike framgangsmåter. Alle vannverk er pålagt å gjennomføre et prøvetakingsprogram i henhold til drikkevannsforskriften. Dette innebærer rutineparametere både av råvann, rentvann og på distribusjonsnettet.

Dette er en form for overvåkning. En annen form for overvåkning kan være kontinuerlige målinger av turbiditet i en sone med mye klager. For å gjøre det lettere å vite hva vi snakker om kan man dele overvåkning av vannkvalitet på distribusjonsnettet inn i følgende kategorier:

- **Produktkontroll**

Tradisjonell/ordinær/rutinemessig vannprøvetaking, verifikasjon

Dette er den lovpålagte rutineprøvetakingen som er gitt i drikkevannsforskriften. Prøvetakingsprogrammet skal inneholde gitte vannkvalitetsparametere med tilhørende grenseverdier og tiltaksverdier.

Fordeler: historiske dataserier, oppfyllelse av krav.



- **Prosesskontroll**

Generell overvåkning, produksjonskontroll og drift

Dette er et tillegg til den lovpålagte prøvetakingen. Det kan innebære f.eks. enkle, robuste målere som gir merinformasjon på strategiske steder på vannbehandlingsanlegget og distribusjonssystemet.

Fordeler: Gir hyppige målinger som kan kobles mot f.eks. driftsdata og nedbør. Avdekke sporadiske hendelser og grunnlag for hvor vi bør ta prøver.



Undersøkende kontroll

Spesifikk overvåkning, forskning og utvikling

Dette er en overvåkning man setter i gang for å undersøke et spesifikt problem. Det kan være å kartlegge problemområde, feilsøking eller grunnlag for risikobasert prioritering av tiltak. Eksempler kan være å bruke både rutineprøver og generell overvåkning i tillegg til nye metoder for å løse en utfordring.

Fordeler: Økt kunnskap og kompetanse. Problem/løsningsorientert – fører til spesifikke forbedringstiltak.



Hva er fremtidens overvåkning?

Teknologi er grunnleggende for å utvikle vannbransjen. utfordringene står i kø og kravene blir strengere. Med begrensede ressurser må vi legge til rette for å møte strengere krav fra både myndigheter og forbrukere. Vi bør derfor stille oss spørsmålet «hva er fremtidens drikkevannsovervåkning?» og bevege oss i riktig retning. Det kan også tenkes at vi langt frem i tid, når metodene for onlinemålinger er gode nok, også går bort fra de ressurskrevende manuelle stikkprøvene. Målet er å gå i fra reaktiv (reagere etter hendelsen har skjedd) til proaktiv (reaksjon i sanntid) og kanskje også til en viss grad prediktiv (forutsigende – mulighet til å avverge).

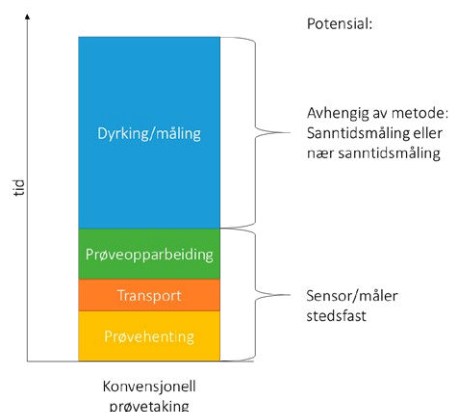


Figur 4: Reaktiv til proaktiv til prediktiv overvåkning med eksempler på hvordan overvåkingen kan skje, hvilken aksjon og handlingsrom vannverket kan sette i gang.

1.8. Krav til metoden

For å få gode overvåkningsmetoder er det noen egenskaper som er viktige:

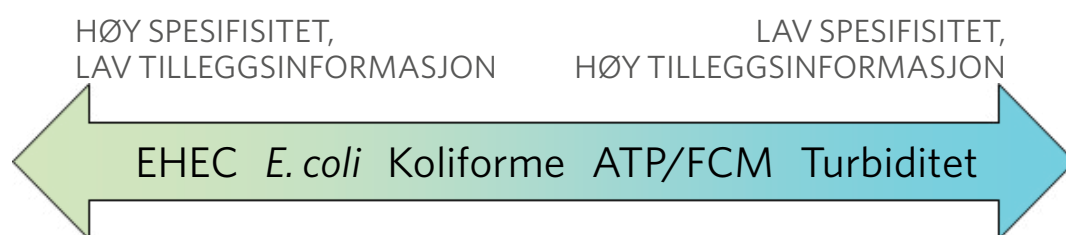
- **Tid:** Jo lengre tid det tar å analysere prøven, jo lengre tid tar det før man kan agere på resultatet. Derfor er det et mål å både redusere tiden fra prøvetaking til resultat, men også hyppigheten til prøvene. Det er flere måter å påvirke tiden fra prøvetaking til resultat (se figur 5). Et instrument som står i felt, vil f.eks. spare tiden det tar å transportere prøven og et instrument som har raskere analysetid kan analysere oftere. Da er det større sjanse for å oppdage sporadiske hendelser.



Figur 5: Tid fra analyse til resultat.

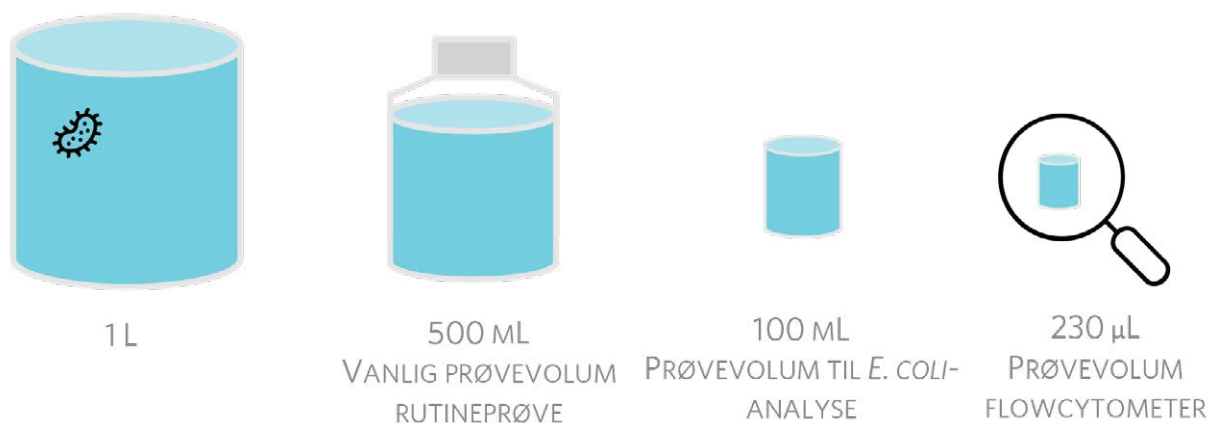
- **Sensitivitet:** Sensitivitet handler om hvor lave konsentrasjoner som kan måles. En sensitiv metode vil kunne plukke opp lave konsentrasjoner av det man ønsker å måle på.
- **Spesifisitet:** Spesifisitet handler om hva analyser sier oss. *E. coli* er f.eks. en parameter som med høy sannsynlighet sier at drikkevannet har vært i kontakt med avføring. En enda mer spesifikk parameter vil være å måle på sykdomsfremkallende varianter av

E. coli som EHEC, men dette vil ikke gi oss informasjon om det kan være andre sykdomsfremkallende bakterier er til stede. Det er sjelden vi finner *E. coli* i drikkevannet, så av og til kan andre metoder med lav spesifisitet faktisk gi oss mer informasjon, f.eks. flowcytometer eller turbiditet. Disse vil ikke si noe om hygienisk risiko, men kan gi informasjon om endringer/hendelser på nettet (se figur 6). Vi må derfor velge metode ut fra den spesifisiteten vi ønsker.



Figur 6: Eksempel på parametere med høy og lav spesifisitet.

- **Prøvevolum:** Sjansen for å oppdage en forurensning. Små prøvevolum – vanskeligere å oppdage. Kan evt. ta mindre prøver oftere eller f.eks. filtrere større mengder vann for å gi større representativitet.



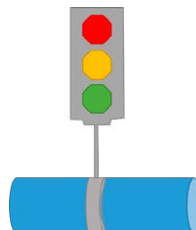
Figur 7: Det kan være vanskelig å avdekke den ene *E. coli*-bakterien. Mindre prøvevolum, lavere sjanse.

- **Ressurser:** Pris, krav til plassering, drift/vedlikehold etc. omtales i kapittel 3.

1.9. Den ideelle sensoren

Ideelt burde en vannkvalitetssensor umiddelbart gi alarm når vannet ikke er helsemessig trygt (se figur 8). NIVA utarbeidet i 2018 en rapport på oppdrag fra Norsk vann for å vurdere tilgjengelige hurtigmetoder for online deteksjon av mikrobiell forurensning i vann (Hultman & Wennberg, 2018). Rapporten har gjennomgått alt fra godt etablerte metoder til metoder som er på utviklingsstadiet. Konklusjonen var at den ideelle sensoren ikke finnes og ikke vil komme på markedet i nær framtid.

Det finnes utallige forbindelser, forhold og mikroorganismer som potensielt kan være helseskadelige eller ha andre negative effekter. Det er verken praktisk eller økonomisk fornuftig å analysere for alle tenkelige sykdomsfremkallende stoffer. Det ville uansett tatt for lang tid til at det har nytteverdi. Derfor gjør vi forenklinger ved å måle på indikatorer eller enkle parametere som kan gi oss et bedre grunnlag for å vurdere kvaliteten.



Figur 8: Den ideelle sensoren gir umiddelbart beskjed om vannet ikke lenger er trygt. Dessverre finnes den ikke per i dag, men det er likevel mye å lære ved å benytte ulike metoder.

Et eksempel er *E. coli* som er en indikator på fekal forurensning. Den indikerer at det finnes spor av avføring, men vannprøve med *E. coli* har ikke alltid sykdomsfremkallende stoffer i seg, på samme måte som en prøve uten *E. coli* ikke alltid er fri for sykdomsfremkallende stoffer. Det gir oss likevel et grunnlag når vi skal vurdere tryggheten på vannet siden vi vet at forurensning med avføring tyder på et alvorlig problem. Ulike metoder har sine styrker og svakheter. Det er derfor viktig å bestemme seg på forhånd hvilket mål man ønsker å oppnå med metoden.

Hvilke verktøy skal vi velge?

Figur 9 viser en oppsummering av metodene med fordeler og ulemper vurdert mot kravene til god metode for overvåking av ledningsnett. Se rapport (Hultman & Wennberg, 2018) for detaljerte beskrivelser av metodene.

Den ideelle metode som både gir analyseresultat i nær sanntid, er enkel/billig og samtidig er sensitiv og spesifikk nok til å avgjøre om vannet holder drikkevannskvalitet har vært forsøkt utviklet i flere tiår uten å lykkes. Man vil neppe lykkes med å få frem en slik «ideell metode» i nær fremtid.

5.3 Ledningsnett – hendelsesvarsler eller overvåking

Tabell 21. Metoder for overvåking av ledningsnett

Parameter	Tid	Sensitivitet	Spesifisitet	Presisjon	Resurser
Viktig - krav	Hurtig analyse og hyppig prøvetaking	1 CFU/100ml <i>E. coli</i> eller tilsvarende 1:1000 0 00 fortynnet kloakk	Indikator fremmedvann	Høy grad av presisjon	
Foretrukket	Online		Helst fekal forurensning		Feltinstrument som kan settes opp på midlertidig lokasjoner med strøm
Dyrkingsmetoder	☹️	😊	😊	😊	☹️
Enzymbaserte metoder	😊	😊/☹️	😊/☹️	☹️	😊
Molekylære metoder	☹️	☹️	😊	😊	☹️
Celltelling	😊	☹️	😊/😊	☹️	😊
Sensorer	😊	☹️	😊/😊	☹️	😊
Modellering	☹️	☹️	☹️	☹️	☹️

Figur 9: Utklipp av tabell som oppsummerer aktuelle metoder for online deteksjon av mikrobiell forurensning. Hentet fra NIVA-rapport (Hultman & Wennberg, 2018).

Rapporten oppfordrer til å utnytte potensialet i disse metodene og videreutvikle de. Det kan gi stor tilleggsverdi sammenlignet med dagens metoder.

Den som leter, finner

Erfaringen fra arbeidsgruppen er at når man setter i gang med å lete etter svakheter og sammenstille data, så oppdages både ny kunnskap, forståelse og forbedringspotensialer. Selv enkle instrumenter kan gi stor innsikt i vannforsyningssystemet. Det er derfor kanskje

ikke alltid like viktig å finne en avansert, ideell sensor, men å sørge for tilstrekkelige ressurser som kan identifisere de enkle tiltakene for å forbedre vannforsyningssystemet. Metodene trenger altså ikke nødvendigvis å avdekke fortynnet forurensning, men avdekke de tekniske svakheter/feil i systemet vårt som gir risiko for forurensning. Vi må være klar over ulike metoder og sensorer sine begrensninger, men ikke la det hindre oss i å bevege oss mot mer overvåkning.

Oppsummering kapittel 1 - Introduksjon

Det er behov for mer overvåkning av distribusjonsnettet for drikkevann fordi:

- Lovverket krever det (farekartlegging, tilstrekkelig kunnskap)
- Det går mot strengere krav
- Behov for mer kunnskap, og derfor nye måter å overvåke
- Stort potensial for forbedring – både med hensyn til kvalitet og drift
- Behov for nye verktøy for å avdekke svakheter (prioritering av tiltak)
- Forurensning av drikkevannet har store konsekvenser (helse og økonomi)

Det er bl.a. behov for:

- Hyppigere prøver/målinger – eks. andre tider på døgnet
- Bredere geografisk dekning
- Ulike parametere
- Mer kunnskap

2. Erfaringer

I dette kapittelet er det gitt eksempler på erfaringer fra kommuner om overvåkning av vannkvalitet på distribusjonsnettet. Listen er ikke uttømmende og er basert på tilgjengelige erfaringer gjennom arbeidsgruppen. Korte

oppsummeringer er gitt under, mens mer utfyllende informasjon er gitt som detaljerte skjemaer i vedlegg E. Her finner du bl.a. mer om kostnader, praktisk bruk og eventuell kontaktinformasjon.

2.1. Enzymbasert metode: Colifast ALARM



Figur 10: Colifast ALARM installert på en pumpestasjon på distribusjonsnettet.

Enkelt forklart fungerer Colifast ALARM og tilsvarende instrumenter som en automatisert lab for *E. coli*-analyser med automatisk prøvetaking hvert døgn. Positive funn gir alarm som kan kobles mot SCADA-system. Colifast utnytter den spesifikke enzymaktiviteten i bakterier for å påvise gitte indikatorbakterier. F.eks. totalkoliforme, termotolerante koliforme bakterier (TKB) eller *E. coli*, men kun en av disse av gangen. Instrumentet kan måle ned til 1 cfu/100 mL og er automatisert og har en analysetid fra 6-15 timer. Det vil si at ved raskt utslag på fluorescens, f.eks. ved høy konsentrasjon, kan prøven gi utslag tidligere enn 15 timer. Colifast ALARM brukes av flere norske vannverk og kan benyttes til råvannsovervåkning eller rent-

vanns-overvåkning på vannbehandlingsanlegg og distribusjons-nett. Det finnes også andre produsenter av instrumenter med noen av de tilsvarende egenskapene.

- Måler *E. coli* som er fekal indikatorbakterie
- Lav deteksjonsgrense (1 CFU/100mL)
- Automatisert

Erfaringer hittil viser at det ikke er gjort funn av indikatorbakterier gjennom bruk av Colifast ALARM på distribusjonsnettet ved vannverkene som bruker instrumentet på distribusjonsnettet. Vannverkene er likevel fornøyd med instrumentet da det gir en bedre overvåkning enn stikkprøver, altså daglig prøvetaking istedenfor ukentlig eller hver 14. dag. Instrumentene er installert på kritiske punkt med høy risiko for forurensning og leveranse til område med næringsmiddelindustri.

Colifast ALARM er en metode som kan indikere fekal forurensning og at vannet derfor ikke kan regnes som helsemessig trygt. Likevel kan ikke fravær av *E. coli* utelukke forurensning. Dette er fordi *E. coli* har relativt kort overlevelse og er sensitiv for f.eks. restklor. Metoden gir ikke noe informasjon/læring utover at det ikke er funnet indikatorbakterier.

Mer informasjon i vedlegg:

E 1.1 Bærum kommune

E 1.2 Oslo kommune

E 1.3 IVAR

E 1.4 Trondheim kommune

E 1.5 Bergen kommune

2.2. Flowcytometer: Bactosense

Et flowcytometer (FCM) måler antall bakterieceller i vann. Metoden gir informasjon om generell bakteriologisk aktivitet. I motsetning til kimtall som kun måler de dyrkbare bakteriene (<1% av totalen), måler FCM alle bakterier. Instrumentet kan skille mellom intakte og ødelagte celledelmembraner og kan gi noe tilleggsinformasjon om det bakterielle samfunnet i såkalte fingeravtrykk eller plott. Analysetid er under 30 minutter og instrumentet kan kobles direkte på en vannstrøm og ta målinger ved gitte intervall. Ved etablerte baselinjer kan alarmgrenser settes slik at instrumentet utløser alarm koblet til SCADA-system. Instrumentet kan også brukes som labinstrument til å analysere stikkprøver.

- Nivå av bakterier
- Mer informasjon og raskere enn kimtall
- Endringer i sammensetning/fingeravtrykk
- Kan være vanskelig å oppdage svært fortynnet forurensning siden drikkevannet inneholder mange celler fra før

Instrumentet er brukt en del i Europa til å overvåke vannbehandlingsprosesser, men det finnes også eksempler på bruk på distribusjonsnett. Per nå er metoden mest aktuell i kartlegging av sårbare områder eller overvåkning av sårbare punkt. Instrumentet er relativt dyrt, krever bytte av kjemikalier og ressurser for å kartlegge baselinje/tolke resultater for å få best nytte. Det finnes ulike produsenter av flowcytometere.



Figur 11: Bactosense flowcytometer installert på utløpsledningen til et bergsprengt drikkevannsmagasin (t.v.), som laboratorieinstrument (m) og resultater/plott (t.h.).

Flowcytometer gir informasjon om den generelle mikrobiologiske vannkvaliteten, f.eks. om det er skjedd endringer i mengden bakterier eller sammensetning av bakteriesamfunnet. Det er viktig å kartlegge normaltilstanden på vannet før man kan trekke konklusjoner. Metoden krever en del kompetanse og oppfølging for å tolke resultater. Flowcytometer er ikke nødvendigvis egnet til å avdekke svært fortynnet forurensning.

Mer informasjon i vedlegg:

E 2.1 Bergen kommune

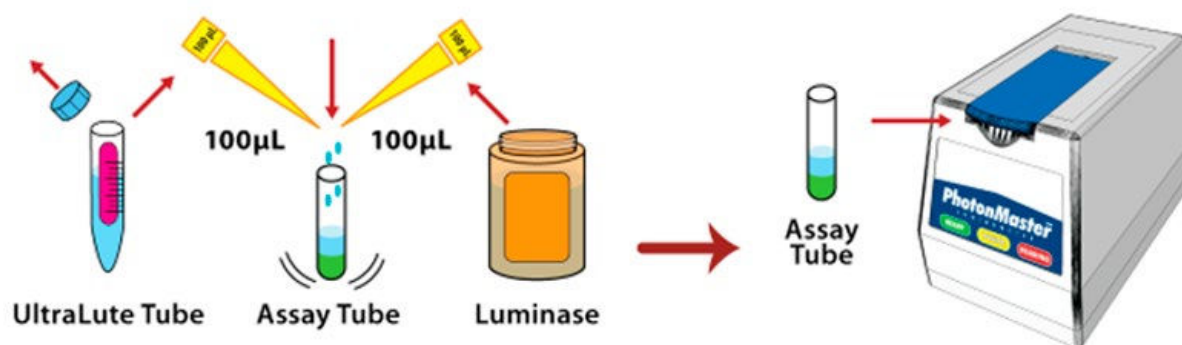
E 2.2 Trondheim kommune

2.3. ATP

Adenosin trifosfat (ATP) er et molekyl som fungerer som energibærer i alle levende celler. ATP er en generell biologisk parameter og kan si noe om den biologiske aktiviteten i vannet. Mengden ATP er ikke nødvendigvis proporsjonal med antall celler siden celler kan inneholde ulike mengder ATP. Det finnes online-instrument for automatisk måling av ATP i en vannstrøm, feltinstrument for analyse av stikkprøver i felt eller man kan sende inn en vannprøve til analyse på et laboratorium. Online ATP-måler er så vidt styringsgruppen vet ikke brukt i Norge, men IVAR har brukt feltnmålinger av ATP til å overvåke ledningsnett i forbindelse med oppgradering av vannbehandlingsprosessen. Analysetid for

onlineinstrument ligger mellom 10-15 min. Analysetiden for feltinstrument er på ca. 15 minutter og krever at man tar prøver manuelt. For å skille på ATP inne i celler (mikrobiell ATP) og det som er i vannstrømmen (fritt ATP), måler man total ATP og trekker fra fritt ATP. Eventuelt at man bare måler på celler som fanges på et filter. I Sveits benyttes ATP som en rutineparameter med alarmgrenser.

- Rask måling
- Generelt mikrobiologisk nivå (kvaliteten på vannet)
- Inkluderer mugg, bakterier og parasitter
- Vanskelig å oppdage svært fortynnet forurensning



Figur 12: Utdrag fra prosedyren for analyse av ATP fra IVAR.

ATP kan si noe generelt om biologisk vannkvalitet, men ikke noe om f.eks. svært fortynnet fekal forurensning. ATP gir ikke tilleggsmåling utover nivået. Det er behov for kartlegging av naturlig variasjon, men metoden er enkel og krever ikke mye kunnskap og oppfølging.

Mer informasjon i vedlegg:
E 3.1 IVAR

2.4. Turbiditet

Turbiditet er et mål på vannets klarhet målt som spredning av lys gjennom prøven. En høy turbiditet indikerer grumsete vann, altså mange partikler i vannet. Metoden er generell, dvs. sier ikke om partiklene skyldes organiske stoffer, fellsprodukter eller mikroorganismer. Turbiditet er mye brukt som prosesskontroll av

vannbehandlingsprosessen. Turbiditet er en relativt enkel og billig metode som kan gi ekstra informasjon i forbindelse med hendelser. Eksempler kan være hvor stort område som er påvirket av et brudd (nok til å løsrive partikler) eller for å spore vannets vei f.eks. ved endret kvalitet ut fra vannbehandlingsanlegget.



Figur 13: Ulike turbiditetsmålere for overvåkning av drikkevann.

- Mange bruksområder
 - o Kan avdekke driftsforstyrrelser (snudd vannstrøm/hendelser på nettet som løsner partikler eller luftbobler)
 - o Kan benyttes i forbindelse med spyling
- Sier ikke noe om hygienisk kvalitet
- Enkel, robust og billig
- Enkelt vedlikehold

Mer informasjon i vedlegg:

E 4.1 Bærum kommune

E 4.2-3 Bergen kommune

E 4.4 Trondheim kommune

Turbiditet har mange bruksområder og kan derfor være en nyttig parameter å overvåke på distribusjonsnettet. Metoden er svært generell og det kan være vanskelig å trekke konklusjoner om hva som forårsaker forhøyet turbiditet. En forhøyet turbiditet tyder på at det har skjedd en driftsforstyrrelse som kan være nyttig informasjon i mange sammenhenger. Har størst potensial i kombinasjon med andre metoder og driftsparametere.

2.5. Temperatur

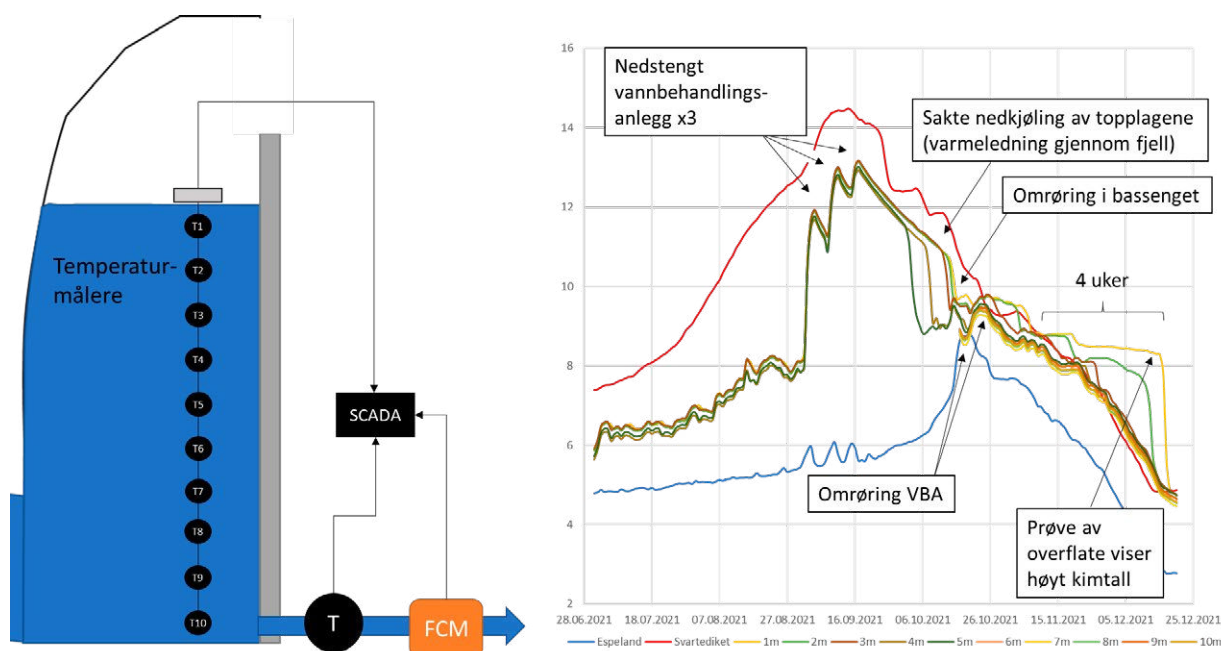
Temperatur er en av de grunnleggende fysiske egenskapene til vannet som påvirker andre egenskaper som tetthet, viskositet, oksygenmetning og pH. I tillegg påvirker temperaturen hastigheten på biologiske og kjemiske reaksjoner, og høye temperaturer kan indikere fare for oppblomstring av bakterier.

I Bergen kommune er det benyttet enkle temperatursensorer (Pt 100-element) for å overvåke temperatur ved ulike dybder i et drikkevannsmagasin på distribusjonsnettet. Målingene viste at i perioder av året forekommer

det en temperaturlagdeling i vannmassene som fører til oppholdstider i overflaten på opptil en måned. Temperaturmålinger er en enkel metode for å overvåke temperaturlagdeling i større basseng.

De fleste pH-målere har ofte innebygd temperaturmåler som kan være mulig å hente verdier fra. På denne måten kan man enkelt hente ut temperaturdata fra f.eks. pH-målere på vannbehandlingsanlegget for sammenligning.

Temperaturmåling er en enkel og billig metode som er svært generell. Temperatur kan benyttes for å indikere stillestående vann eller temperatursjiktning i større magasiner eller råvannskilde for å overvåke omrøring i kilden. Driftsparameter.

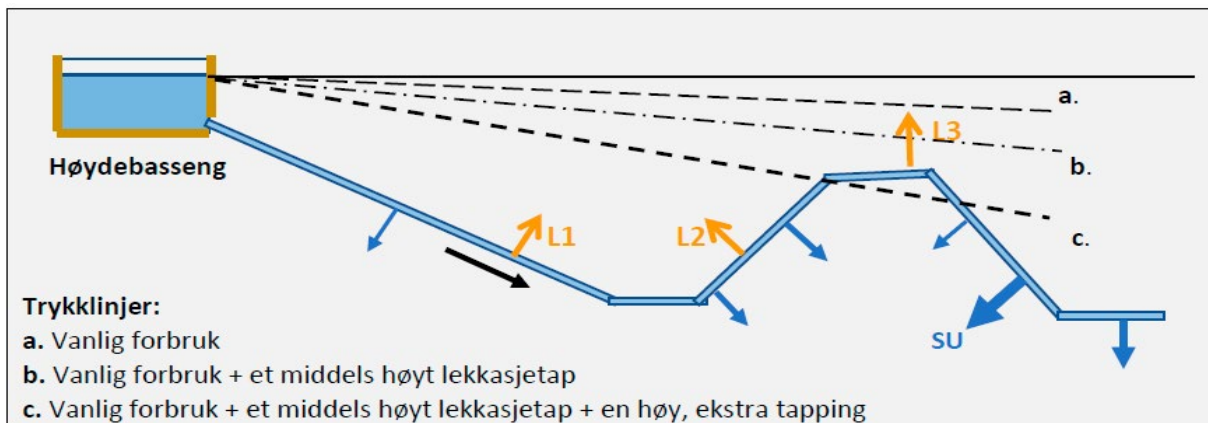


Figur 14: Eksempel fra bruk av temperaturmålinger i ulike lag i stort drikkevannsmagasin. Målingene avdekket stillestående vannmasser i opptil 4 uker. Bergen kommune.

2.6. Trykksensorer

Overtrykk på distribusjonsnettet gjør at forurensninger ikke kan komme inn i systemet, selv om ledningene ikke er tette (se kapittel 1.4). Siden vannfylte ledninger i prinsippet ikke kan forurennes uten trykkfall er trykkmålere foreslått som enkle og billige indikasjoner på om det kan ha forekommet innsug av forurensning (Hem & Østerhus, 2010). For å få et riktig bilde av om det har forekommet undertrykk i gitte områder er man avhengig av å ha en god dekning med mange sensorer. Sensorene kan være ganske billige og kan være nyttige for den daglige driften av distribusjonsnettet og for lekkasjesøking.

Trykk er en generell og anvendelig parameter som gir en rekke fordeler for driften av distribusjonsnettet, men som også kan gi informasjon om det har skjedd hendelser på nettet som kan gi risiko for forurensning. Trykkmålere er enkle, robuste og relativt billige.



Figur 15: Illustrasjon på hvordan endring i vannføring kan føre til undertrykk på høydebrekk og føre til innsug av forurensning gjennom lekkasjepunkt (L3). En ekstra høy tapping (SU), f.eks. brannvannsuttak kan føre til trykkfall. Figur: Gunnar Mosevoll.

2.6.1. Erfaringer med trykkmålinger fra Bergen

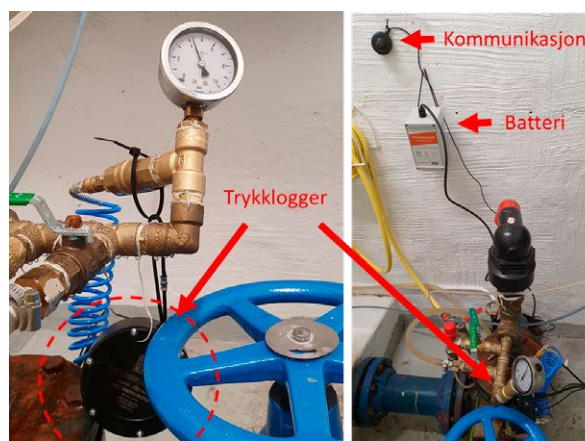
I Bergen benyttes trykkmålere aktivt i driften av distribusjonsnettet. Funksjonsstyrende trykkmålere brukes hovedsakelig for å regulere pumpestasjoner, men kan også brukes som verktøy for å avdekke brudd eller brukes som måleparameter for maks vannføring ved spyling. Trykkmålingene som brukes for styring av systemer er avhengig av å ikke ha raske endringer da dette ikke er gunstig for pumpene som styres på trykk. Disse er derfor ofte programmert til å jevne ut verdier og fjerne støy og egner seg ikke til å avdekke kortvarige trykkfall og trykkstøt.

Trykkstøtprosjekt

Et prosjekt støttet av FHI sitt program for teknologiutvikling i vannbransjen har som mål å avdekke trykkstøt og vurdere om dette kan ha forårsaket forurensning av drikkevann i et område med flere forurensningshendelser.

Femten trykkmålere er installert som måler kontinuerlig i et område. Ved en rask endring i trykk aktiveres loggføring med 128 målinger per sekund i tre minutter for å avdekke kortvarige hendelser. Dette gjør at man kan få svært god oppløsning og avdekke trykkslag. Programvare og triangulering skal gjøre det mulig å lokalisere hvor trykkslaget kommer fra.

Mer informasjon i vedlegg:
E 5.1 Bergen kommune



Figur 16: Trykkstøtloggere med kommunikasjonsenhet og batteri for enkel montering på lokasjoner uten strøm/kommunikasjon.

2.7. Konduktivitet

Konduktivitet er vannets evne til å lede strøm gjennom ioner. Ladede partikler, f.eks. løste salter eller metaller, vil øke konduktiviteten. Saltvann har mye høyere konduktivitet enn avløpsvann som igjen har høyere konduktivitet enn drikkevann. Konduktiviteten kan si noe om vannkvalitet og forurensning, men det skal store mengder forurensning til for å gi utslag på konduktivitet. Den gir dermed begrenset informasjon. Konduktivitetssensorer er til gjengjeld svært billige.

I Trondheim kommune ble midlertidige konduktivitetsmålere installert for å kalibrere den digitale distribusjonsnettmodellen. Her ble natriumklorid (ufarlig bordsalt) tilsatt i kjent konsentrasjon ved vannbehandlingsanlegget som ga økt konduktivitet. Denne konduktivitetstoppen kunne deretter spores ute på nettet for å observere oppholdstiden til vannet i distribusjonsnettet.

Natriumklorid ble altså brukt som tracer for å kalibrere modellen og fastslå vannalder. En artikkel i tidsskriftet Vann konkluderer med at dette er en kosteffektiv måte for å måle oppholdstid i distribusjonsnett som ikke er klorinert (Rakstang, Waak, Rokstad, & Hallé, 2021). Generelt ønsker vi en kort oppholdstid på vannet fra vannbehandlingsanlegget til forbruker slik at ikke vannet forringes på veien.

Som en del av Bergen Vann sitt vannmålerprosjekt er det mulighet for å måle konduktivitet i alle vannmålere installert siden 2020. Konduktivitetsmåleren er innbakt i produktet og brukes ikke per i dag, men kan enkelt kobles opp til SCADA-system og kan brukes som ekstra informasjon.

2.8. Multiparameter

Multiparametersensorer er instrumenter som i samme enhet kan måle på flere parametere. De bruker gjerne spektrometer med ulike bølgelengder for ulike parametere. Flere produsenter tilbyr måleenheter som inneholder flere sensorer. Et eksempel er s:scan som blir brukt på flere norske vannverk. Instrumentet måler på en rekke parametere som kan skreddersys.

2.8.1. Erfaringer fra Ålesund kommune:

Smart Water er et samarbeidsprosjekt mellom Ålesund kommune og NTNU (NTNU, 2023). Målet for prosjektet er å utvikle system for overvåkning, modellering og simulering av hele vannforsyningssystemet. For å kunne bruke simulering er de avhengige av gode måledata og målestasjoner med sensorer. Planen er å installere multiparametersensorer på tre punkter i distribusjonssystemet med parameterne turbiditet, TOC, fargetall, UV254, temperatur, ledningsevne/ konduktivitet og pH.

2.9. Molekylærbiologiske metoder

I dette avsnittet blir molekylære metoder nærmere beskrevet. Dette er metoder som bruker genmaterialet til bakteriene i vannprøven til å karakterisere bakteriene f.eks. på familienivå. Generelt er dette dyre metoder som krever mye opparbeiding av eksperter på området. Det tar gjerne lang tid før man mottar svar og resultatene bør tolkes med hjelp av ledende innen fagfeltet. Det er derfor ikke egnet som rutinemessige prøver, men kan gi verdifull kunnskap i f.eks. FoU-prosjekter.

2.9.1. DNA metabarcoding/mikrobiell kildesporing

Dette er en metode som bruker deler av DNA-et (markører) i bakteriene i vannet for å identifisere sannsynlig opphav til forurensningskilden (Paruch, Paruch, & Mæhlum, 2017). Med denne metoden kan man derfor finne ut om forurensningen skyldes dyr eller mennesker, og til en viss grad hvilken dyregruppe. Det må allerede være påvist forurensning og fysiske vannprøver må sendes for avansert analyse.

I forbindelse med *Campylobacter*-utbruddet på Askøy i 2019 var resultatet at den dominerende kilden til forurensning var fra dyr, ikke mennesker. Metoden er hovedsakelig brukt for kartlegging av råvannskilder. Nordre Follo kommune har bl.a. gjennomført kilde-sporing i drikkevannskilden der de fant DNA fra menneske også i det rensede drikkevannet. Metoden er svært dyr og det er stor risiko for kontaminering av prøven.

Metoden er ikke aktuell som rutineovervåkning på distribusjons-nettet, men kan gi tilleggsinformasjon ved identifisert forurensning.



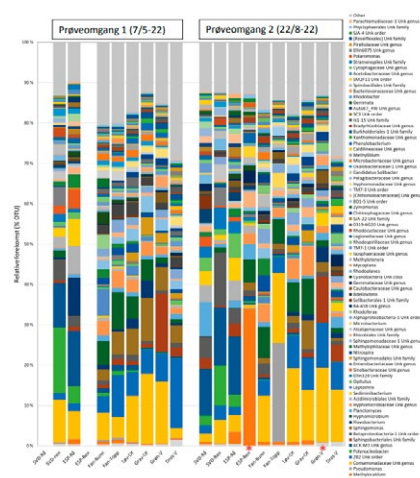
Figur 17: Rapport om bruk av mikrobiell kilde-sporing.

2.9.2. 16S-sekvensering

16S er et gen som er til stede i alle bakterier, men har noen variable deler av genet som er forskjellige blant ulike slekter og kan dermed gi informasjon om hvilken familie eller slekt bakterien er en del av. Det er ikke mulig å skille mellom enkeltarter innenfor samme slekt. Ved å kjøre analyser på genmaterialet i en vannprøve kan man få en oversikt over sammensetningen av bakterietyper i vannet. Metoden er godt etablert i andre fagfelt, men er relativt ny i drikkevannssammenheng.

Vannprøver må sendes til et laboratorium som tar imot og gjennomfører 16S-analyser på drikkevann. Etter at sekvenseringen er gjennomført kan det kjøres en bioinformatisk analyse. Analyseresultatet presenteres gjerne som en prosentandel av den totale bakteriesammensetningen. Sammensetningen av det bakterielle samfunnet kan dermed sammenlignes mellom ulike prøvepunkt eller over tid. Metoden skiller ikke mellom levende og døde bakterier.

Det finnes håndholdte feltinstrument som gjennomfører 16S-sekvensering. Disse gir mindre detaljert resultat, men er tilgjengelig lett å bruke. En utfordring med sekvensering er at mye av databasene er basert på kliniske data. Det er stor grad av ukjente arter som ikke er dyrket eller klassifisert.



Figur 18: Eksempel på sekvenseringsresultater.

16S-sekvensering er brukt i flere prosjekter i Norge de siste årene på:

- Vann fra vannbehandlingsanlegg (BARRiNOR)
- Vannverksslam (SLAMiNOR)
- Biofilm (Biofilm og lukt/smak i Sirdal)
- Distribusjonsnett (Ny kunnskap om mikrobiologisk vannkvalitet i distribusjonssystem med bergsprengte drikkevannsmagasiner)

Man bør sammenligne flere prøvesteder mot hverandre og/eller over tid for å se på endringer. Metoden gir mest informasjon når man setter resultatene i sammenheng med andre parametere.

2.9.3. Erfaringer med gensekvensering av koliforme bakterier i Trondheim

Siden oppstarten i 2017 har det vært varierende utfordringer med Hoppekreps i vannkilden Benna i Trondheim kommune. I enkelte sesonger med mye hoppekreps er det også påvist koliforme bakterier på nettet. Da i høydebasseng og pumpestasjoner som har blitt forsynt med vann fra Benna. I 2019 ble det sendt inn stammer til gensekvensering og det viste seg at de tilhører en art som heter *Lelliotta jeotgali*. Etter videre

tester hos SINTEF kom det frem at arten delvis tåler UV- og klor-behandling. I perioder med mye hoppekreps i vannet vil hoppekrepsen fungere som en vert/skygge og effekten av UV-behandlingen blir redusert.

Nå er det satt opp trykdiskfilter som filtrerer ut hoppekrepsen før vannbehandling. Den ble ferdig montert og satt i drift i vår. Foreløpig i en størrelse som dekker dagens forbruk fra Benna, men hvis dette fungerer blir det en fullskala utbygging.

2.10. Vannets egenfluorescens

Fluorescens er et stoffs evne til å sende ut lys ved andre bølgelengder enn det som absorberes ved bestråling. Ved å utnytte denne egenskapen kan molekyler som viser fluorescens påvises. Tryptofan-lignende fluorescens (TLF) er et spesifikt optisk signal som kun forekommer i et veldig smalt og distinkt bølgelengdeområde, og er assosiert med fluorescens av frie aminosyrer og proteiner, og aminosyrer bundet i mikrobielle celler. Vitenskapelig litteratur har fremhevet at TLF er korrelert med biologisk oksygenforbruk (BOD) og fekale koliforme bakterier i utslipp fra kloakkbehandling. Metoden er foreslått som et mer føre-var-tiltak enn dyrkningsmetoder for fekal forurensning i grunnvannskilder i lavinntektsland (Jade S.T. Ward, et al., 2021). Utfordringer med metoden er knyttet til sensitivitet og spesifisitet.

2.10.1. Erfaringer fra Nannestad kommune/Bærum kommune

Det var planlagt oppstart av samarbeidsprosjekt med utvikling av sensorer for vannets egenfluorescens (tryptofan). Representanter fra Bærum og andre kommuner var med som fagpersoner for å gi innspill på hvordan vi måler og drifter vannovervåkingen. Prosjektet kom aldri ordentlig i gang pga. manglende finansiering. Det ble ikke samlet nok kapital til å sette i gang med prosjektet og samarbeidet ble oppløst før det ble presentert en sensor.

Lærdommer: Teknologien var ikke kommet langt nok for uttesting i drikkevannsledninger. Det kan være vanskelig å gjennomføre store utviklingsprosjekter, både med hensyn til finansiering, samarbeid og ressurspersoner.

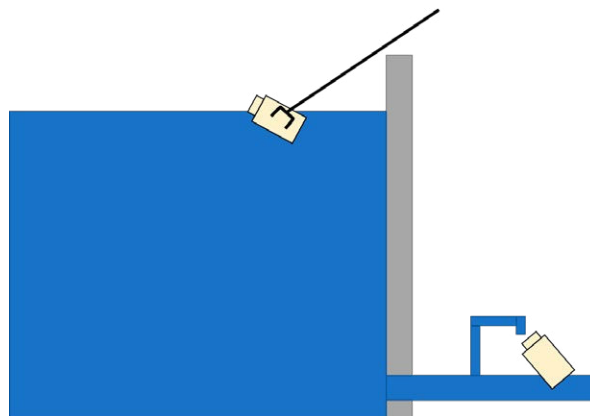
2.11. Mikroskopibaserte metoder (Digital Imaging)

Mikroskopiprinsipp for å identifisere partikler. Prøven analyseres i en flytcelle og mikroskop med kamera eller i kombinasjon med lys med ulik bølgelengde som gir mer informasjon om partiklene. Basert på partiklenes form og egenskaper kategoriseres disse i ulike kategorier som kan si noe om hva det er, f.eks. bakterier, leire, alger etc. Kan kombineres med kunstig intelligens.

2.12. Risikobasert prøvetaking

Uten tilstrekkelig forståelse for svakhetene med prøvetaking kan vi få et uriktig inntrykk av sikkerheten i systemet vårt. Ved å ta flere prøver når risikoen er høyest kan vi få bedre forståelse for risikoen i systemet. Også her er vi avhengig av å treffe riktig tidspunkt.

Innholdet av tarmbakterier i innlekkingsvann til et høydebasseng kan være sporadisk og uforutsigbar. Det er avhengig av det ligger avføring i terrenget over bassenget, at disse blir transportert inn via sprekker og at bakteriene ikke dør ut på veien. Ved å ta prøver f.eks. på sommerstid (flere dyr/mennesker i terrenget), etter periode med tørke (oppsprukket jordsmonn, oppsamling av avføring over tid) og kraftig nedbør (utvasking av fekal material) øker man sjansen for å avdekke forurensing i innlekkingsvannet.



Figur 19: Prøvetaking i overflate og bunn/utløp.

2.12.1. Erfaringer med risikobasert prøvetaking i Bergen

I lys av *Campylobacter*-utbruddet på Askøy i 2019 intensiverte Bergen Vann prøvetakingen i bassenger som ikke inngikk i ukentlig prøvetaking, fra en gang i året til en gang i måneden. I tillegg ble det gjennomført en risikobasert prøvetaking på utløpssiden av samtlige basseng fra overflate og bunn ved kraftig nedbør etter tørke.

I perioden juli 2019 – september 2021 ble det gjort følgende funn:

Tabell 1: Resultater fra risikobasert prøvetaking av høydebassenger. Kilde: Bergen Vann.

Juli 2019-sept 2021	Antall prøver	Antall funn	Antall bekreftede funn *	% funn	% bekreftede funn*
Rutineprøver	900	2	0	0,2	0,0
Månedsprøver	780	9	6	1,2	0,8
Risikobaserte prøver, 1. gang	88	3	0	3,4	0,0
Risikobaserte prøver, 2. gang	176	7	2	4,0	1,1

* = funn i omprøver

Det ble altså gjort flere funn på færre prøver. Konklusjonen er at når vi tar prøver risikobasert er det en høyere sannsynlighet for å avdekke svakheter i systemet. Risikobasert prøvetaking er bedre egnet til å gjøre risikovurderinger av drikkevannsbassenger.

Når det gjelder praktisk gjennomføring av risikobasert prøvetaking er det mer logistisk krevende enn rutineprøver. Det må planlegges godt i forkant for å være klar til regnskyllet kommer. Ved mange bassenger kreves det flere folk for å hente prøver og disse må ha erfaring med

prøveinnhenting og være nøye med prøvetakingsrutinen. Det er viktig å unngå å forurense prøven og bassenget under prøvetaking f.eks. ved prøvetaking gjennom luker over vannspeil.

Ved å gå over til månedlige bassengprøver på de bassengene som ikke inngår i rutinekontrollen ble det avdekket flere forurensningshendelser. Denne prøvetakingen var lett å implementere og gjennomføre da den i større grad kan planlegges på forhånd.

2.13. Eksisterende data, nye muligheter

Eiere av vannverk og distribusjonsnett samler og lagrer store mengder data på vannkvalitet og ulike driftsparametere. Her ligger mye informasjon som er både vanskelig og ressurskrevende å sammenstille. Mye kan gjøres med enkle metoder (se eksempel i kapittel 5.3.2), men dette er et område der det ligger spesielt stort potensiale i kunstig intelligens og datahåndtering. Felles for metodene under er at det krever gode datainput, f.eks. fra ulike sensorer.

2.13.1. Maskinlæring

Maskinlæring bruker kunstig intelligens til å gjøre komplekse analyser og finne sammenhenger i store datasett. I vannbransjen samles det inn store mengder analysedata og driftsdata. Det er store muligheter for å koble disse sammen for å se sammenhenger som er vanskelig å sammenstille manuelt. Et sentralt mål i maskinlæring er å forutse hvordan systemet vil være frem i tid basert på tidligere data.

Det er mange fordeler med maskinlæring, men det er viktig å være obs på datakvaliteten («shit in -shit out»). Endringer i drift, hendelser, instrumentfeil og så videre kan påvirke resultatene. Det er derfor i mange tilfeller viktig med forbehandling av dataene. På denne fronten utvikles også nye, egne prosesser for maskinell forbehandling av data før videre analyse.

Jo større nettverk av sensorer som kobles opp – jo større blir potensialet for bruken av maskinlæring for å hjelpe å holde oversikt over tallrike og komplekse datasammenstillinger. Det kreves likevel en definert, konkret problemstilling man ønsker å løse. Et mål med fokus på vannkvalitet i distribusjonsnett kan for eksempel være å kalkulere sannsynlighet for forurensning (trykk, nedbør, modelldata, røralder, tidl. brudd/funn, sensorer) (se figur 4).

I prosjektet INVAPRO (Sintef, 2021) utforskes mulighetene til å bruke maskinlæring for å utvikle datadrevne algoritmer for styring av vannbehandlingsprosesser. F.eks. er tanken at datamaskinen kan benytte en rekke datasett (f.eks. onlinemålere av råvann, nedbørsdata, temperatur, forventet sluttkvalitet) for å vurdere koagulantdose, der vi i dag kun bruker en formel basert på fargetallet.

2.13.2. Soft sensor

En soft sensor, også kjent som virtuell sensor, er en programvarebasert modell eller algoritme som estimerer eller predikerer fysiske eller kjemiske variabler basert på enkle eksisterende prosessmålinger (eks. trykk, temperatur, kjemikaliedosering). Soft sensorer brukes når direkte måling av en variabel er vanskelig, kostbar eller upraktisk. De bruker matematiske modeller til å estimere den ønskede variabelen basert på andre målbare parametere. Soft sensorer tillater en sanntids-overvåking av parametere som ellers krever prøveopparbeiding.

Soft sensor blir ofte markedsført til å kunne detektere/estimere andre parametere som f.eks. *E. coli* og *Legionella* basert på enkle, gjerne eksisterende sensorer. Det stilles spørsmål om soft sensor faktisk kan avdekke dette, siden vi vet at enkle sensorer som turbiditet og konduktivitet ikke øker ved svært fortynnet forurensning. Det er også naturlig vanskelig å få gode datasett for å trene sensoren siden fortynnet forurensning skjer sporadisk og kan ha mange årsaker (og dermed vannkvalitetsmessig karakteristikk). Det finnes også svært lite datamateriale fra slike hendelser siden de er vanskelige å fange opp. Metoden vil være avhengig av gode prøveserier, korrelasjoner og valg av proxy. Metoden kan likevel være svært nyttig som et verktøy for å se på komplekse sammenhenger av store datamaterialer.

2.13.3. Modellering

Modellering av distribusjonssystemet krever en del kompetanse og oppbygging av et godt grunnlag, men har til gjengjeld svært mange bruksområder. Det kan brukes til en rekke formål som planlegging, kapasitetsvurderinger og andre driftsformål. Programvaren kan også brukes for å modellere vannkvalitet. Eksempelvis kan man beregne hvor lang tid det tar fra vannet går fra et punkt til et annet. Dette kan spesielt være nyttig for å beregne hvor man bør ta omprøver ved funn i rutineprøver. Utvikling i programvare gjør at nettversjoner av modell tilgjengeliggjøres for de som ikke jobber med modeller til vanlig.

Under Giardia-utbruddet i Bergen i 2005 ble en digital vannmodell benyttet for å kalkulere hvilke områder som fikk forsynt forurenset vann.

Dersom man ikke har en digital modell, kan man likevel gjøre enkle beregninger på hovedledninger på mindre komplekse system (se eksempel i kapittel 5.2.6).

2.14. Sensornettverk/Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) er ikke en analysemetode, men en måte å kommunisere data fra ulike sensorer. En av de store utfordringene med overvåkning av distribusjonsnettet er nettopp tilgang til strøm og kommunikasjon av loggdata fra kummer og lite tilgjengelige steder. Med enkle, billige sensorer og batteripakker kan slike nettverk være svært verdifulle for vannbransjen. Det finnes ulike typer nettverk, men to av de mest utbredte er NB-IoT og LoRaWAN. Dette er radioteknologi for overføring av data trådløst over lange avstander og med lavt energiforbruk.

2.14.1. Erfaringer fra Horten kommune

Horten kommune har satset på utbygging av eget LoRaWAN-nettverk. Målet er å bruke dette nettverket til å innhente informasjon fra sensorer fra ulike fagfelt. Blant annet jobbes det med å lage et nettverk med flere hundre vibrasjonsloggere som skal kunne avdekke lekkasjer. Loggerne skal plasseres i kummer og sender data gjennom LoRaWAN-nettverket til egen database. Etter hvert som nettverket er bygget ut ser kommunen nå flere nyttige bruksområder innen VA, bygningsdrift, vei, samt park og idrett. På avløpssiden brukes for eksempel enkle temperaturloggere for å indikere tilførsel av fremmedvann. Med et etablert nettverk er terskelen lavere for å ta i bruk nye sensorer.

Oppsummering kapittel 2 - Erfaringer

- Det er laget en oversikt over erfaringer med sensorbasert overvåkning av vannkvalitet på distribusjonsnettet for drikkevann i Norge.
- Sensorer som brukes inkluderer:
 - Enzymbaserte metoder (Colifast)
 - Flowcytometer (Bactosense)
 - ATP
 - Enkle sensorer som trykk, turbiditet og konduktivitet
- Detaljert informasjon ligger i vedleggene til rapporten.
- Det er begrenset bruk av sensorer for avansert overvåkning av vannkvalitet på distribusjonsnettet for drikkevann i Norge.

3. Suksessfaktorer

Før vi setter i gang med en ny type overvåkning av vannkvalitet er det noen punkter det er viktig å tenke igjennom på forhånd. I vedlegg D ligger det et skjema basert på erfaringer fra arbeidsgruppen på punkter det er lurt å se på. Det kan være lurt å fylle ut dette skjemaet på forhånd eller be leverandøren fylle ut det som er mulig, for å begrense tiden man trenger for å sette seg inn i metoden.

En gjenganger hos flere kommuner er at man har satt i gang prosjekt/ny teknologi, men at instrumentene blir glemt, ikke fulgt opp eller vedlikeholdt f.eks. på grunn av

ressursmangel. Ved å avklare på forhånd hvem som har ansvar og hva man ønsker å oppnå kan vi unngå investeringer som ikke gir oss den nytteverdien vi ønsker.

I dette kapittelet står det litt mer detaljert om hva vi bør tenke over før vi går til innkjøp av sensorer basert på erfaringer i styringsgruppen. Det er ikke nødvendig å ta stilling til alt, men det kan være lurt å gjøre seg noen tanker om hva som er viktig.

3.1. Metodens muligheter og begrensninger

Vannbransjen har behov for å utvikle seg, men det er også viktig å ha realistiske forventninger til teknologien vi bruker. Forventer vi en teknologi som skal løse alle utfordringene våre legger vi opp til å feile. Ved å være klar over begrensningene kan vi også bruke teknologien på en fornuftig måte. Den kan til og med gi uante muligheter (se 3.5).

Et eksempel:

«[Instrumentnavn] er det første instrumentet av sitt slag som er konstruert for å **overvåke og dermed forhindre, forurensning i vann**. Den måler og logger vannets **konduktivitet** og **temperatur**.»

Man kan se for seg at det finnes hendelser der en forurensning vil gi høyere konduktivitet og temperatur, f.eks. innsug av forurenset grøftevann med høyere temperatur. Det må likevel store mengder til for å gi utslag på disse parameterne (se case i vedlegg C), spesielt dersom det er en avstand mellom hendelsen og måleren. Å måle vannkvaliteten forhindrer ikke forurensning i seg selv. Det kan derimot gi oss handlingsrom f.eks. undersøke nærmere, sende kokevarsel, finne tekniske feil eller lære systemet vårt å kjenne slik at vi kan forhindre forurensninger i fremtiden.

3.2. Hva bør du tenke på?

Metoden

- *Mål: Hva ønsker du å oppnå – og kan metoden svare på det?*

Det kan være mange grunner til å drive mer overvåkning av distribusjonsnett. Et viktig mål i seg selv er å lære mer om distribusjonsnett. Ved å kjenne systemet kan vi også skape et kunnskapsgrunnlag for et godt system.

Eksempler på mål kan være:

- Sensorer for kalibrering av digital modell
- Verktøy for å avdekke driftshendelser
- Overvåkning av punkter med risiko for forurensning
- Redusere lekkasjetap
- Lære mer om distribusjonsnett
- Kartlegge risiko og avsløre områder med behov for strategisk oppgradering
- Feilsøking i forbindelse med hendelser

Det er viktig at metoden egner seg til det målet vi har satt oss.

- *Hva kan metoden brukes til?
Hvilke begrensninger har den?*

Ved å være bevisst på hva metoden faktisk kan si oss og hva den ikke kan si, har vi et bedre grunnlag for å finne realistiske bruksområder. Få gjerne info fra leverandør og be om referanse fra andre som har benyttet instrumentet. Er det kanskje andre i bransjen som har erfaringer?

- Skal det implementeres rett i driften eller som del av prosjekt/utprøving?

Et instrument som skal settes inn i driften uten spesiell utprøving, bør ha et tydeligere bruksområde og mål enn en sensor som skal prøves ut som en del av et prosjekt.

Prøver og resultater

- Hvor skal prøvene tas? Hvor rask analysetid/målehyppighet? Hvordan skal resultatene behandles?

For å ta vare på data som samles inn er det lurt å ha en plan for innhenting og lagring av datamaterialet. I utgangspunktet bør resultatene inngå i eksisterende system for tilsvarende resultater, men f.eks. ved uttesting av nye metoder kan det være tilstrekkelig å presentere disse i en rapport. Denne bør gjøres lett tilgjengelig.

- Brukes informasjonen alene eller i sammenheng med andre resultater?

Noen metoder står greit på egen hånd, men de fleste metoder er mest kraftfulle i sammenheng med andre data. Den kan f.eks. gi en ekstra dimensjon til eksisterende data, enten prøveresultater eller driftsdata. Er det gjort noe lignende før?

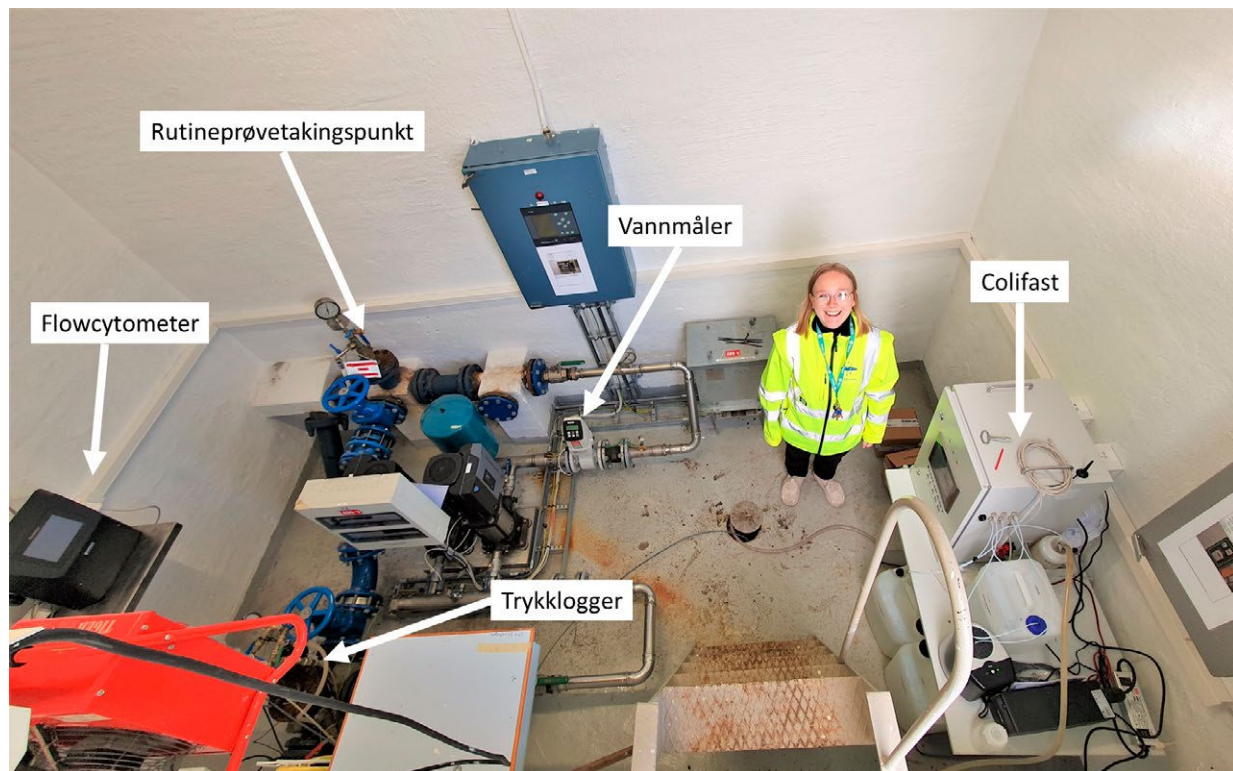
Drift og vedlikehold

- Hvor skal instrumentet plasseres?

Distribusjonsnettet er omfattende og komplekst. Det kan være vanskelig å velge gode punkter for å måle vannkvalitet, men ofte har vi identifisert områder vi anser som mer risikofylte enn andre. Skal man måle på overføringsledninger/kommunalt nett, eller er man interessert i informasjon ang. internt fordelingsnett?

- Er det plass? Trenger det strøm?

Undersøk på forhånd om instrumentet er egnet for å stå på den ønskede lokasjonen. Mange kummer har f.eks. dårlig plass, er svært fuktige og har ikke tilgjengelig strøm. Det er også mange instrumenter som har gitte temperaturområder de opererer i og derfor ikke tåler frost. Derfor er ikke alle punkter på nettet like enkle å bruke. Andre hensyn kan være tilgjengelighet for vedlikehold, mulighet for tilkobling på vannstrøm, drenering for eventuell vannstrøm. Selv om mye er mulig er det ikke alt som er praktisk. Pumpestasjoner kan ofte være gode steder for plassering av slike instrumenter da de har strøm, lett tilgjengelige og uansett føres tilsyn med regelmessig (se figur 20).



Figur 20: Pumpestasjon med avansert overvåking av vannkvalitet på vandistribusjonsnettet i Bergen.

- **Hvor aktiv oppfølging trenger instrumentet?**

Ulike instrumenter trenger ulik grad av vedlikehold. Dette er skjulte ekstrakostnader og ressurser som kan ha konsekvenser for driften. Behovet for vedlikehold kan også variere med tanke på vannkvalitet. Problemer knyttet til biofilmvekst, partikler som stopper til innløp og brå endringer i strømnings situasjonen gjør det ekstra utfordrende med automatiske målere. En del mikrobiologiske instrumenter trenger relativt hyppig påfyll av kjemikalier. Stikkord: Filterbytte, service, kontroll, kalibrering. Sensorer bør inngå i eksisterende FDV-system med gitte tilsynsintervall.

- **Kommunikasjon. Kan instrumentet kobles mot SCADA-system?**

Spesielt instrumenter som måler/logger automatisk er relevante for oppkobling mot SCADA-system. Dette er nyttig for å fjernovervåke sensorer samt få alarmer når målinger overstiger gitte verdier. Ikke alle instrumenter har mulighet for direkte oppkobling, men som regel finnes det muligheter f.eks. ved å installere en mellom-enhet/kommunikasjonsenhet.

En annen utfordring kan være tilgjengelighet til strøm, kabler og kommunikasjon med SCADA-systemet. Det er kommet nye løsninger som baserer seg på IoT-teknologi. LoraWAN er et eksempel på overføring av data over lange avstander med lavt energiforbruk. Man kan derfor bruke batteri for å ha enkle sensorer installert i f.eks. kummer.

- **Genereres det avfall?**

Noen instrumenter genererer avfall, enten i form av en vannstrøm eller kjemikalier. Hva dette avfallet inneholder har betydning for hvordan det må håndteres. Vannstrømmer kan gjerne gå til sluk eller drenering i grunnen.

Kostnader og ressurskrav

- **Hva er den reelle kostnaden? Er instrumentet den største kostnaden eller oppfølgingen?**

Noen instrumenter krever hyppig påfyll av kjemikalier eller vedlikehold. I en kostnadsoversikt bør det komme frem: innkjøpskostnad, kjemikaliekostnader, servicekostnader, kostnad per analyse og forventet levetid. Selv om instrumenter ofte har høye kostnader er ofte den største begrensningen i ressurser til å følge de opp. Se kapittel 3.8 for mer om dette.

Egnet personell og gode prosedyrer

- **Hvem skal følge opp prøvene? Hvor mye tid må settes av? Kompetansekrav/dedikert personell?**

Drift, vedlikehold og oppfølging av kontinuerlige målere bør ha en ansvarlig person som også kan sørge for tilstrekkelig opplæring av andre som skal håndtere instrumentet. Den ansvarlige bør ha tilstrekkelig kompetanse, være motivert og ha frigjort nok tid til å følge opp implementering, drift og oppfølging av resultater.

- **Hvordan skal man følge opp resultatene? F.eks. avvikshåndtering?**

Ved bruk av sensorer som genererer en alarm (f.eks. funn av indikatororganismer) bør det etableres en plan for håndtering av denne situasjonen. Kan man f.eks. på forhånd definere punkter nedstrøms der man skal ta omprøver basert på oppholdstiden fra stedet instrumentet står? Klargjort polygon for kokevarsel?

Bruksområde

- **Hvordan er metoden brukt andre steder? Har den en tilleggsverdi utover det tiltenkte formålet?**

3.3. Vanlige fallgruver

Data som aldri brukes

En gjenganger hos kommuner som har tatt i bruk ulike instrumenter og ny teknologi er at dataene som samles inn ikke brukes. Det kan være ulike grunner som driftssituasjon som krever fokuset andre steder, de som installerte det har sluttet eller at ansvaret faller mellom flere stoler. Det er derfor lurt å definere på forhånd hva dataene skal brukes til.

Det er ikke alle data vi samler inn som trenger å brukes veldig aktivt. Så lenge dataene lagres automatisk i et

etablert system som SCADA er det mulig å hente de ut og sammenstille det i ettertid - kanskje det plutselig er nyttig?

Dedikert personell og ansvar

Det kan være uklart hvem det er som har ansvar for instrumentet. Ofte faller ansvaret mellom flere stoler. Derfor er det viktig at noen «eier» instrumentet og at det blir fulgt opp i et etablert drifts- og vedlikeholdssystem.



Figur 21: pH-måler som er forglemt. «Ingen» vet hvem som har installert eller hvorfor. Måleren viser en pH på 4,89, altså langt under grenseverdien i drikkevannsforskriften. Rutineprøver i området viser normal pH på 7,5. Manglende oppfølging, kalibrering og vedlikehold gjør at vi får uriktige verdier.

«Men dette så vi jo på for 10 år siden»

Sette i gang med omfattende prosjekt som viser seg er blitt gjort allerede. Sjekk på forhånd erfaringer innenfor/ utenfor egen organisasjon.

Manglende kunnskap om eget system

Ofte kan den reelle situasjonen se ganske annerledes ut enn hva vi tror. Dette kan fort føre til at vi tar feil antagelser og begynner å måle og gjøre tiltak før man har undersøkt feilkilder etc.

Tolke driftsdata

Lett å se en rask topp og tenke at den er reell. Skjedde det noe i området i perioden? Strømstans og kommunikasjonsfeil.

Kalibrering og vedlikehold

Hvordan kan du stole på dataene? De fleste instrumenter trenger jevnlig kalibrering og vedlikehold for å vise riktige verdier. Sjekk gjerne opp mot andre prøver eller sensorer.

Kontakt med selgere/utviklere/forskningsprosjekt

For å komme videre i utviklingen er det viktig med et samarbeid mellom de som utvikler metodene og de som bruker de. Problemet er ofte at brukerne som i dette tilfellet er vannverk og kommuner ofte har begrensede ressurser til å delta i prosjekter. Og dersom vi deltar i prosjekt har vi kanskje ikke tid til å sette oss godt nok inn i problemstillingene eller aktørene til å gjøre kvalifiserte valg. Dette kan føre til dyre prosjekter som har svært lav nytteverdi. Mange vil også overselge sitt produkt (se eksempel i kapittel 3.1). Det vil derfor være nyttig å be aktøren komme med svar på spørsmål f.eks. gitt i vedlegg D for å gjøre det lettere å vurdere verdien i prosjektet.

Styringsgruppen har hatt erfaringer med aktører som er useriøse og overselger produktets/prosjektets nytteverdi. For å unngå å bruke for mye tid på slike henvendelser anbefales noen tips under:

- Etterspør referanser
- Det bør komme frem tydelig hvilke mål som skal oppnås og pris/tidsestimat
- Spør om de kan fylle ut skjemaet gitt i vedlegg D
- Hør litt rundt om andre har erfaringer med aktøren



Figur 22: Kalibrering av temperaturloggere. Alle legges i en balje med kjent vanntemperatur. Sensorene justeres etter denne.

3.4. Vanlige fordeler

Avdekker store forbedringspotensial – også utenfor fokusområdet

En vanlig erfaring er at når man setter i gang med prosjekter for å undersøke et problem viser det seg ofte at man finner en rekke andre problem. Disse kan gjerne være større enn den originale problemstillingen. Dette er positive bieffekter.

Eksempel: Bakterietall på ledningsnett avslører forbedringspotensial på vannbehandlingsanlegget

I et prosjekt der man undersøkte vannkvaliteten på distribusjonsnettene kom man frem til at vannbehandlingsanlegget ikke fungerte optimalt (se figur 23). Målet var å kartlegge vannkvalitetens endring i distribusjonsnettene, men det viste seg at vannet fra vannbehandlingsanlegget hadde de høyeste bakteriekonsentrasjonene på høsten. Etter nærmere undersøkelse viste det seg at anlegget ikke opererte optimalt. Anlegget tilsetter kjemikalier (koagulant) ut ifra en formel basert på fargetall, men det var behov for en høyere koagulantdose enn styringsformlene tilsa. Etter at anlegget økte koagulantdosen ble vannkvaliteten bedre ut fra anlegget. Det ga med andre ord ikke svar på den originale problemstillingen, men førte til store forbedringer i systemet. Det var også nødvendig å fjerne denne «støyen» for å undersøke den opprinnelige problemstillingen.

Erfaringen i prosjektgruppen er at prosjekter der man undersøker vannkvalitet fører til ny innsikt, forståelse av systemet og avdekker problemområder.

Økt kunnskap og kompetanseheving

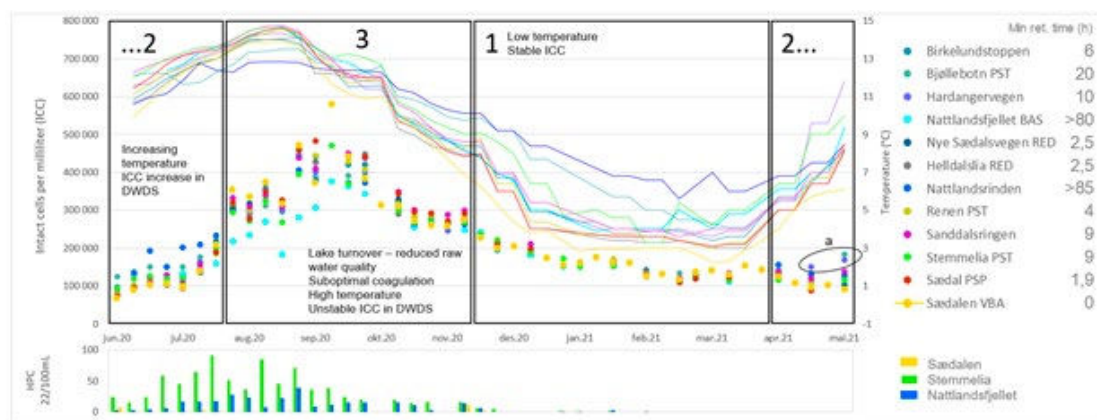
Felles erfaring fra styringsgruppen er at utviklingsprosjekter er gode arenaer for å øke kunnskapen om eget system. Det fører altså til økt fagkunnskap og kompetanseutvikling. Vannforsyningssystemet er omfattende og komplekst. Det er dynamiske system som har vannkilder påvirket av årstid og nedbør, vannbehandlingsanlegg med ulike prosesser som endrer vannkvaliteten og distribusjonsnettene med biofilm, gamle rør og kontinuerlige endringer i driftssituasjonen. Å jobbe med konkrete problemstillinger gir en helt annen dybdekunnskap enn gjennom å lese en lærebok.

Nye bruksområder for eksisterende data

Ved å ta i bruk nye metoder er det naturlig å sammenligne med de resultatene man sitter på fra før. Dette gjør at man får et nytt forhold til eksisterende datamateriale og får et nærmere forhold til hva dataene faktisk representerer, heller enn at det er noe man innhenter fordi lovverket sier det.

Positive effekter internt og eksternt

Prosjekter som innebærer kommunikasjon på tvers av fagområder fører til nyttig kunnskapsutveksling mellom kollegaer internt og eksternt. Ved å inkludere driften vil man få tilgang til kritisk informasjon og systemforståelse. Samarbeid med forskningsinstitusjoner gir dybdeforståelse i fag. Deling av resultater internt og eksternt gir inspirasjon, kunnskapsutveksling og et faglig nettverk som er gull verdt. I grensesnittet mellom ulike fagområder finnes interessante problemstillinger og der er ofte mest å hente.



Figur 23: Hypotesen var at bakterietallet økte utover i nettet. En slik trend kan ses på våren/sommeren (2), men på høsten (3) klarer ikke anlegget å fjerne bakteriene like godt som andre anlegg. Da blir det for mye støy og variasjon for å trekke konklusjoner om det som skjer på nettet. På vinter og vår (1) er det lav temperatur, mindre bakterier fra VBA og lite endring i nettet.

3.5. Viktigheten av forskning, utvikling og innovasjon i driftsmiljøet

Mange forskning-, utvikling- og innovasjonsprosjekter (FoUI) styres av forskningsinstitusjoner i samarbeid med f.eks. en driftsorganisasjon. Slike prosjekter skjer gjerne på et akademisk nivå der grunnlaget hentes fra en forenklet forklaring av driftssituasjonen og et lite utvalg vannprøver. Det blir fort stor avstand mellom den praktiske driften og de eksterne som driver prosjektet. Med ressursknapphet i mellomledet (ofte en ingeniør på kontor) er det ikke lett å høste mange av fordelene med FoUI-prosjekter i driftsorganisasjoner.

En annen fordel med FoUI-fokus i selve driftsorganisasjonen er at man har en fleksibilitet til å gjøre endringer underveis etter hvert som man får ny informasjon. Man har mulighet til å «hive seg rundt» når det skjer hendelser som er umulig å planlegge for som forurensning på nettet. Forhåndsbestemte prosjekter har gjerne avgrenset budsjett og tidsramme og er bundet av prosjektbeskrivelse (manglende fleksibilitet) og har derfor ikke denne muligheten.

Ved å ha prosjektledelsen og FoUI-aktiviteten i driftsmiljøet har man en rekke fordeler (se punkter under). Ved å være tett på driften er det også mer sannsynlig at utviklingen skjer på et område som faktisk er nyttig i praksis.

Fordeler med FoUI i driftsmiljøet:

- Lettere å sikre relevans/nytteverdi/implementering i praksis
- Kompetansebygging der kompetansen skal praktiseres
- Stort potensial og behov for å utvikle driften

- Bedre systemforståelse. Grunnlag for tolkning av data
- Tett på driften – bevisst på driftshendelser/andre forhold
- Fleksibilitet – endre fokus etter behov
- Hiv seg rundt ved akutte hendelser (eks. forurensning, trykkfall)
- Kompetanseheving i driften
- Kan ha positiv effekt på omdømme
- Attraktivitet for rekruttering

3.5.1. Kunnskap som tiltak

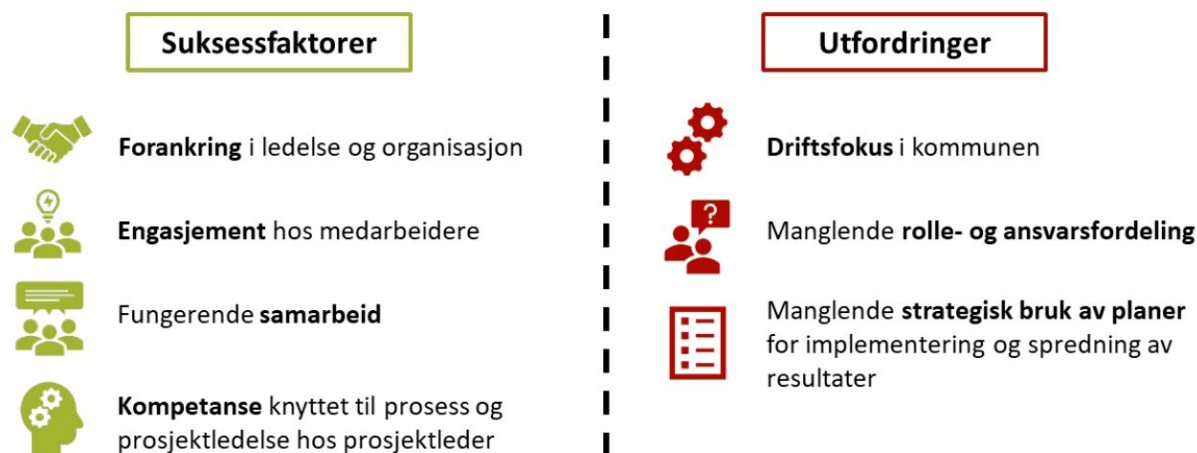
I Norsk Vann rapporten om *Risikovurdering av bergsprengte drikkevannsmagasiner ble kunnskapsgrunnlag lagt frem som et anbefalt tiltak* (Kleppen, et al., 2022). Vi må vite mer om systemet vårt for å gjøre riktige tiltak. En gjennomgående erfaring fra styringsgruppen er at situasjonen ofte er annerledes enn vi tror og at vi derfor ikke har det nødvendige kunnskapsnivået (ref. eksempel i 3.4 og 5.2.5). Med tilstrekkelig kunnskap er det lettere å høste de enkle forbedringene med lav innsats. Det er mye å hente ved å fokusere på steder vi vet at det er utfordringer, for eksempel tilbakeslagsventiler på avløpsspumpestasjoner. Styringsgruppen mener det er mest å hente på samarbeid mellom ulike fagfelt, kompetanseheving og sammenstilling av eksisterende informasjon.

3.6. Suksessfaktorer for prosjektgjennomføring i offentlig sektor

Menon Economics har kartlagt suksesskriterier og utfordringer med gjennomføring av innovasjonsprosjekter i kommunesektoren (Høiset-Gilje, Lie, Hernes, Riiser, & Skogli, 2020). Rapporten peker spesielt på at det er viktig for gjennomføringen av prosjekter at medarbeiderne er engasjerte og at prosjektleder har riktig kompetanse til å lede prosjektet og koordinere samarbeidet innad. Det må også være en tydelig rolle- og ansvarsfordeling mellom partene. I tillegg er det viktig med forankring, ikke bare i ledelsen, men også resten av organisasjonen. Dette er spesielt viktig siden det er høyt fokus på drift, og FoU-prosjekter

kjemper om de samme ressursene. Rapporten påpeker også at det ofte mangler en plan for hvordan resultatene skal viderefremmes eller implementeres i praksis.

I tillegg til at innovasjonsprosjekter må veies mot verdien av bruk av midlene andre steder er det også en kultur blant kommunalt ansatte en frykt for å feile. Det ligger i FoU sin natur at man av og til prøver ting som viser seg å ikke å fungere eller at det er vanskelig å vurdere nytteverdien på forhånd. De tre viktigste suksessfaktorene er forankring, tilstrekkelige finansielle ressurser og motiverte og kompetente medarbeidere.



Figur 24: Illustrasjon over hovedfunnene i analysen til Menon Economics. Hentet fra (Høiset-Gilje, Lie, Hernes, Riiser, & Skogli, 2020).

Konklusjoner fra rapporten

[Digitalisering av VA-sektoren i Norge - status, utfordringer og behov:](#)

1. Det er stor mangel på informasjon, kompetanse og ressurser ute i bransjen til å kunne øke innsatsen innenfor digitalisering.
2. Det er behov for flere pilotprosjekter hvor man tester og prøver ut nye teknologier og løsninger, og formidler resultatene til bransjen.
3. Det er et stort behov for å samle og sammenstille data fra flere kilder på en god måte, og å bruke disse for å modellere, analysere og visualisere gjennom helhetlige IoT systemer. Målet med dette er å få en bedre helhetsforståelse av VA-systemene.

3.7. Finansiering

Det finnes flere muligheter for å søke om midler til prosjekter der man tar i bruk ny teknologi eller etablert teknologi på en ny måte (forskning, utvikling og innovasjon, FoU). Som regel kreves det en egeninnsats enten i form av delvis økonomisk finansiering eller egeninnsats.

Eksempler på finansieringsmuligheter:

Program for teknologiutvikling i vannbransjen

Folkehelseinstituttet (FHI) har på oppdrag fra Helse- og omsorgsdepartementet etablert en tilskuddsordning for kommuner som kalles program for teknologiutvikling i vannbransjen. Målet med ordningen er å oppnå helsemessig tryggere vannforsyning og større leverings-sikkerhet av drikkevann på en kostnadseffektiv og bærekraftig måte. Programmet er rettet mot kommuner

og vannverkseiere og skal stimulere til utvikling og utprøving av ny teknologi. Les mer om kriterier på FHI sine nettsider.

<https://www.fhi.no/ml/drikkevann/ny-tilskuddsordning-for-kommuner-program-for-teknologiutvikling-i-vannbransj/>

Forskningsrådet og regionale forskningsfond

Forskningsrådet finansierer FoU-prosjekter for forskningsinstitusjoner, næringsliv og offentlig sektor. Midlene er øremerket til ulike tema. Her gjelder det å følge med på nye utlysninger. Noen midler er tildelt ulike regioner. Dette kalles regionale forskningsfond (RFF-midler).

<https://www.forskningsradet.no/>

<https://www.regionaleforskningsfond.no/>

Offentlig doktorgrad (OFFPHD)

Gjennom forskningsrådet kan det søkes midler for at en ansatt i offentlig sektor kan gjennomføre en doktorgrad med relevans for virksomhetens ansvarsområde. Dette kan være en mulighet for å bygge kompetanse og

frikjøpe tid og ressurser til å jobbe med relevante problemstillinger.

<https://www.forskningsradet.no/sok-om-finansiering/midler-fra-forskningsradet/offentlig-sektor-phd/>

3.8. Menneskelige ressurser

Et gjengående problem i gjennomføring av innovasjonsprosjekter eller bruk av nye instrumenter er manglende kunnskap og/eller menneskelige ressurser. Ved å se på bruk av nye metoder som en mulighet for rekruttering kan man oppnå flere mål samtidig. Det er ulike måter å gjøre dette på. Det kan være et sommervikariat, bachelor eller masteroppgave eller større samarbeidsprosjekter med utdanningsinstitusjoner og offentlig doktorgrad.

Flere i styringsgruppen har gode erfaringer med samarbeid med utdanningsinstitusjoner, spesielt i form av bachelor og masterstudenter. For et sommervikariat kan oppgaver som blir nedprioritert f.eks. sammenstillinger av eksisterende data være en passende oppgave. Felles er at det trengs god oppfølging. Dette trenger ikke nødvendigvis å ta mye tid, men det er viktig at studenten får hjelp og veiledning når det trengs, ikke om tre uker da vi har en åpning i kalenderen. Også her er det viktig at resultatene presenteres i en ferdig rapport

og at det er en plan for at resultatene faktisk implementeres eller viderefremmes innad i organisasjonen. Kanskje som et innslag på et allmøte?

Permisjoner kan brukes som mulighet for å rekruttere og samtidig gjennomføre nye prosjekt. Når en arbeidstaker går ut i foreldrepermisjon blir lønnsinntekten dekket av NAV. Dette gjør at lønnsutgiftene til en vikar dekkes. Ofte er det ikke hensiktsmessig at en vikar kan ta over alle oppgavene til den permitterte. Da kan denne frigitte tiden brukes på et definert prosjekt som man ønsker å gjennomføre.

Vannbransjen har et stort behov for økt rekruttering i tiden fremover (Lindholm, 2020). Forskning- og utvikling er spennende og kan appellere til nyutdannede. De er også gjerne bedre oppdatert på hvilke muligheter som er kommet de siste årene. På denne måten kan vi rekruttere gjennom spennende prosjekter og bygge den kompetansen vi trenger.

3.9. Dele kunnskap

Et viktig element for å dra nytte av den kunnskapen som skapes ved bruk av ulike metoder er å dele erfaringene, både internt og eksternt. Ekstern deling vil føre til nytte for andre, men også bidra til å skape et verdifullt

kunnskapsnettverk, noe blant annet dette prosjektet er et eksempel på. Intern deling er viktig for kunnskapsløft, men også som en del av å skape et fellesskap med felles mål.

Oppsummering kapittel 3 – Suksessfaktorer

- Realistiske forventinger til metoden man ønsker å bruke
- Pass opp for tvilsomme prosjekter og fallgruver
- Høst de positive bieffektene
- Det man har tenkt igjennom på forhånd er lettere å forholde seg til
- Forankring i ledelse og organisasjonen
- Tilgjengelige ressurser
- Det er mange fordeler med å drive FoU i driftsorganisasjonen

4. Overvåkning i praksis

Stikkprøver som hentes manuelt fra et prøvetakingspunkt krever at kompetent personell er tilgjengelig på riktig tidspunkt. Vi vet at teknisk svikt er de situasjonene der det er størst fare for forurensning. Under slike hendelser, f.eks. ledningsbrudd, er mange ressurser opptatt og omprioritert. Selv om vi har prosedyrer som

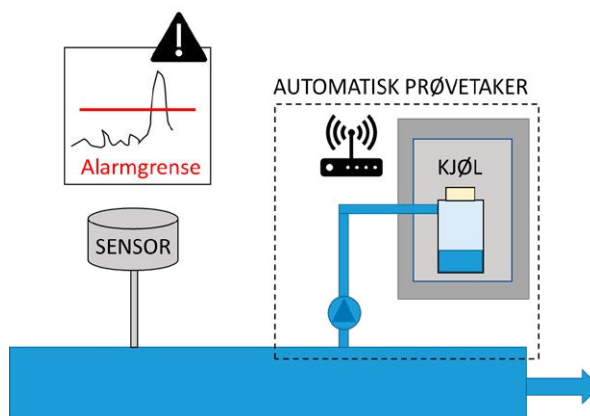
skal sikre at vi skal ta prøver i disse hendelsene, er det ikke alltid mulig å få til i praksis. Andre teknikker for innhenting av prøver kan gi nye lag med kunnskap. I dette kapittelet vises ulike teknikker for prøveinnhenting og behandling, og hvordan man kan bruke disse for å få flere lag med informasjon.

4.1. Teknikker for innhenting av prøver

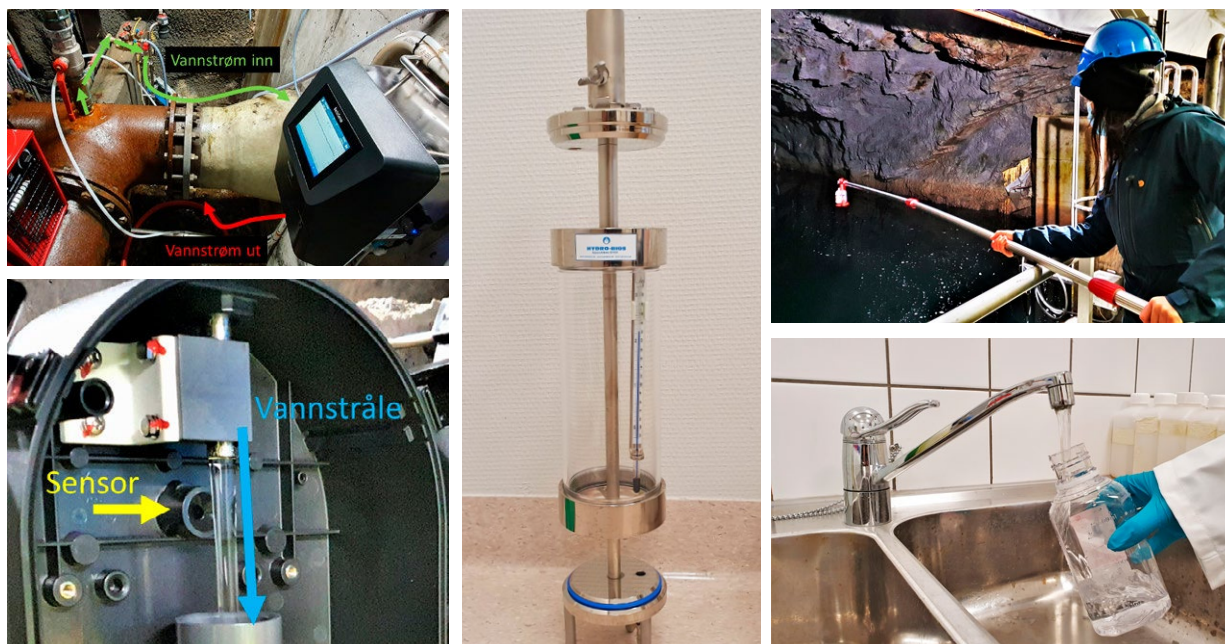
Det er mange ulike teknikker for innhenting og behandling av vannprøver før analyse.

Eksempler:

- Stikkprøve. Fysisk innhenting av prøve:
 - o Fra prøvetakingspunkt (kran, ventil)
 - o Fra hydrant eller brannventil i kum
 - o Fra vannspeil med stang
 - o Ved ulike dybder (Nansen-flaske)
- Automatisert prøvetaker:
 - o Blandeprøver (vanlig for avløpsvann og overflatevann)
 - o Tidsinnstilt eller mengdeinnstilt
 - o Alarminnstilt: tar prøve når en sensor (f.eks. turbiditet, trykk) overstiger grenseverdi (se figur 26)
- Måling direkte på vannstrøm (online-sensor, f.eks. turbiditet)
- Oppkonsentrering (f.eks. filtrering av større volum før dyrkning)
- Biofilmmonitor (se 4.1.1)



Figur 26: Illustrasjon av oppsett med sensorstyrt risikobasert prøvetaking.



Figur 25: Eksempler på automatisert prøvetaker, måling direkte på vannstrøm, Nansen-flaske til prøvetaking ved ulike dybder, prøvetaking med stang i overflate og vanlig vannprøve fra kran.

4.1.1. Biofilmmonitor

For å samle opp biofilm til videre analyse er det i flere prosjekter i Norge brukt såkalte biofilmmonitører. Dette er ikke en sensor, men en måte å innhente prøvemateriale på. Enkelt forklart er det brukte PE-rør som kobles på vannstrømmen, der det over tid gror biofilm. Når man ønsker å undersøke biofilmen kappes en gitt lengde av røret som deretter kan sendes for analyse av det man måtte ønske å se på.

Metoden er brukt i kartleggingsprosjekter i bl.a. Bergen, Trondheim og Stavanger. IVAR har benyttet metoden i forbindelse med oppstart av nytt vannbehandlingsanlegg med ozon-biofilter.

Biofilmen har innvirkning på og kan gi informasjon om vannkvalitet, drift, korrosjon og mikrobiologi.

Figur 27: Biofilmmonitor. Biofilm gror på innsiden av røret som kappes av et gitt antall cm. Merket med navn og tid for installasjon.



4.2. Parametere

En oversikt over vanlige vannkvalitetsparametere er gitt i vedlegg A. Dette er en forenklet oversikt med fordeler og ulemper. Her anbefales Folkehelseinstituttets og Mattilsynet sine oversikter for mer informasjon.

4.3. Feilkilder

I overvåking av vannkvalitet finnes en rekke mulige feilkilder som kan oppstå i alle delene av prosessen.

- Prøveinnhenting (feil utstyr, utilstrekkelig desinfeksjon og teknikk)
- Transport (krav til oppbevaring, tidsfaktor)
- Prøveopparbeiding (fortynning, dyrking)
- Analysefeil (instrumentfeil, måleusikkerhet)
- Tolking av data (trekke feil slutninger)

Feilkildene kan gi både falske positive og falske negative svar:

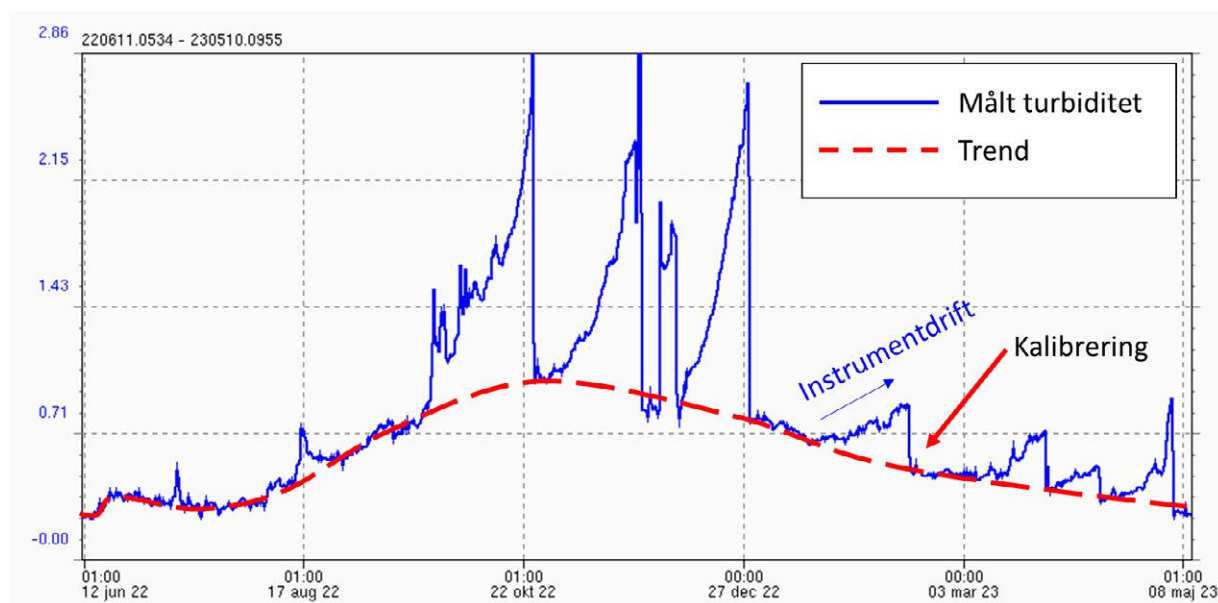
Falsk positiv: Analysen gir utslag uten at det er en reell forurensning.

Falsk negativ: Analysen gir ikke utslag selv om det er en reell forurensning.

Det er viktig å være obs på feilkilder for å redusere faren for analysefeil. Dersom positivt utslag avfeies som prøvefeil gang på gang, kan man stille seg spørsmål om hvorfor vi tar prøver om vi ikke stoler på resultatet eller

har tenkt å agere på det. Spesielt dersom falske positive resultater/feil ved prøvetaking dukker opp på samme steder over tid bør det ringe varselsbjeller. Instrumenter og sensorer som måler online har også muligheter for feilkilder, men det er en stor fordel at faren for menneskelig feil er kraftig redusert sammen-

lignet med tradisjonelle vannprøver. Med instrumenter og sensorer er det instrumentfeil og tolkningen av resultat som ofte er de største feilkildene. Figur 28 viser en typisk feil for sensorer der verdien starter å drifte. Dette viser viktigheten av kalibrering og vedlikehold av instrumentene.

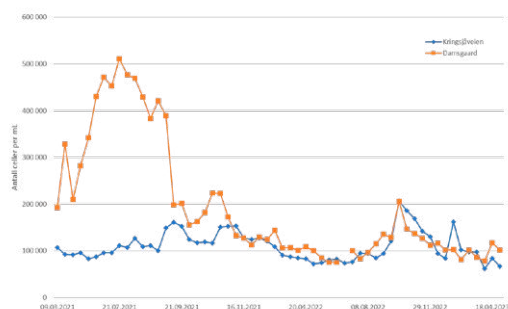
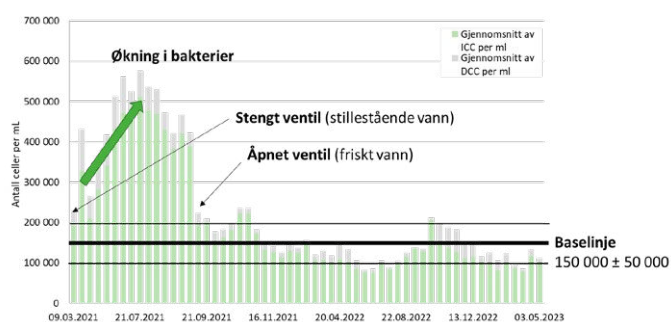


Figur 28: Turbiditet på råvann. Sensoren har lett for å bli tilgriset og trenger ofte kalibrering, spesielt på høsten når råvannskvaliteten er dårlig. Selv med svært mye instrumentdrift kan vi se trenden.

4.4. Kraften i trender og online-overvåkning

Selve parameterne har sine iboende begrensninger, men hyppigere prøver kan gi oss mer informasjon. En stikkprøve med flowcytometer-data vil ikke si oss mye siden det kan være store forskjeller i innhold av bakterier fra vannverk til vannverk. Da er det viktig å

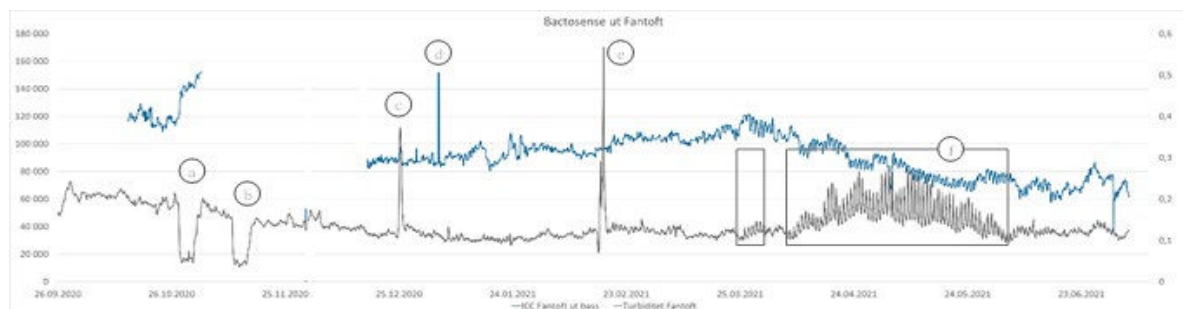
bygge opp en baselinje og forståelse for normalsituasjonen. Når vi ser en økning sammenlignet med normalverdi eller sammenlignet med andre prøvepunkter (figur 29) kan vi med stor sikkerhet si at det har skjedd en reell endring i vannkvalitet.



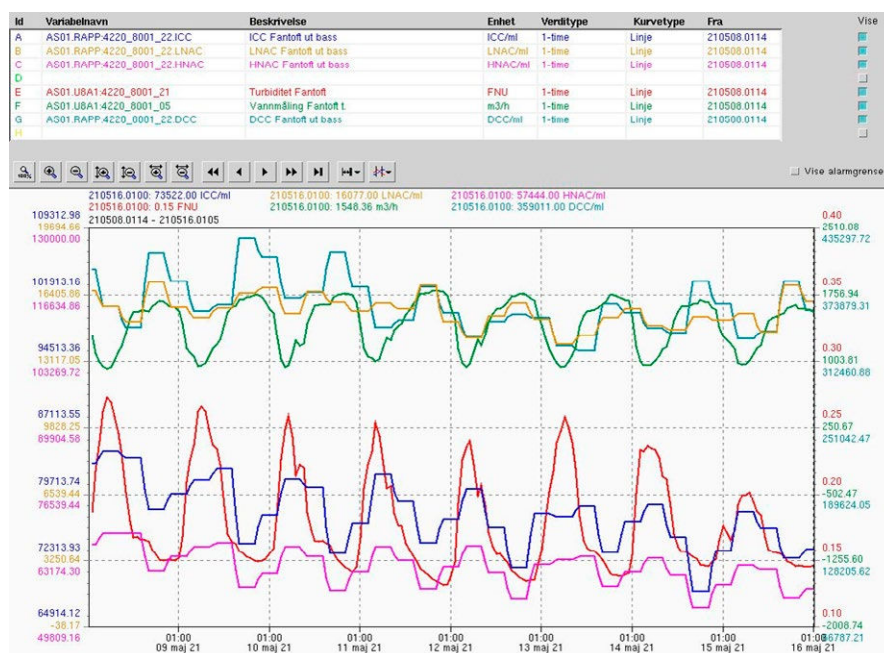
Figur 29: Avvik fra baselinje (t.v.) og nærliggende prøvepunkt (t.h.), økning i bakterier i stillestående vann grunnet stengt ventil.

Med enda hyppigere overvåkning, for eksempel onlinemålinger, øker informasjonsverdien. Siden distribusjonsnettet er dynamisk og volatilt vil det være stort potensiale for å avdekke ugunstige driftsforhold. Ved å ha sensorer som overvåker i sanntid kan man

fange opp hendelser som er av kortvarig og forbigående karakter. Ved å måle flere parametere samtidig, har man et bedre grunnlag for å gjøre tolkninger og årsaksvurderinger.



Figur 30: Online-målinger av celletall (flowcytometer) og turbiditet, med ulike hendelser indikert fra a-f.



Figur 31: Utsnitt av drifts- og overvåkningsdata fra hendelse (f) i figur 30. Vann fra to VBA leverer til systemet. Sammenheng mellom intakte celler og turbiditet er omvendt korrelert med vannføring og ødelagte celler.

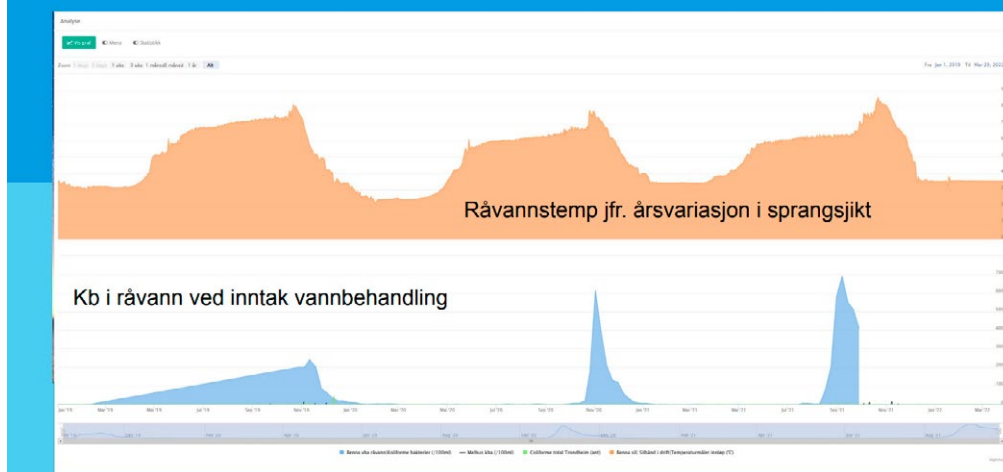
4.5. Systematisering av data

For å hente ut potensialet i innsamlet data er det viktig med et godt system. Det vil gi et godt grunnlag for å se på sammenhenger. Datamateriale bør ideelt lagres sammen med lignende type data. Dvs. analyseresultater fra stikkprøver på samme sted som rutineprøver og onlinedata der driftsovervåkningsdata ligger. Dette sørger for at data ikke går tapt, men gjør det også

enklere å sammenstille ulike data. Det gir også en trygghet i form av at tilgangen ikke er personavhengig. Det finnes ulike systemer for håndtering av store datasett. Ved å ha analysedata lett tilgjengelig er det også lettere å bruke dem i den daglige driften. Det kan gjøre det lettere å se sammenhenger og å få oversikt.

Analysegraf:

Sammenstilling av alle resultater på koliforme bakterier, temperatur i råvann fra SCADA

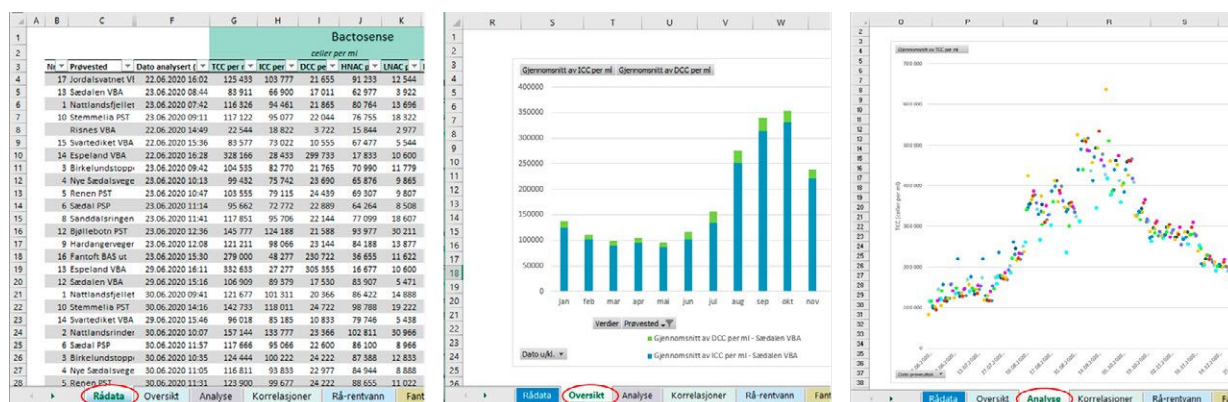


Figur 32: Sammenstilling av råvannstemperatur, (miljø-)koliforme i råvann og rentvann. Geir Sommervold, Trondheim kommune.

Mange kommuner bruker Gurusoft sin løsning for datalagring. Trondheim kommune har samlet driftsdata og analysedata i løsningen til Gurusoft (se figur 32). Dette gjør at de kan enkelt hente ut utsnitt av en gitt periode og sammenligne online-data og stikkprøver i et enkelt analyseverktøy. Ønsker man å se nærmere på problemstillingen bør en laste ned datagrunnlaget og bearbeide dataene i egnet program, for eksempel i Excel.

Driftsdata samles gjerne i et SCADA-system. Disse har ofte enkle analyseverktøysfunksjoner der man kan se på

trender og samle ulike parametere. Ofte vil vi koble data som ikke snakker sammen fra ulike system. Da kan det være mest aktuelt å analysere dette i et eget analyseverktøy. Her finnes det mange muligheter, men Excel er kanskje det som er mest etablert. Ved analyse av store mengder data i Excel, kan det være lurt å sette opp gode tabeller som fungerer som rådata for videre behandling i ulike ark. Kurs i videregående bruk av Excel kan være en god investering for mer effektiv behandling av data. Bruk av pivottabell kan for eksempel gjøre det lettere å se etter sammenhenger (se figur 33).



Figur 33: Eksempel på bruk av pivottabell for analyse av store datasett.

4.6. Planlegging for fremtiden

Nye deler av distribusjonsnettet bygges med en forventet levetid på 100 år. Med utviklingen mot mer overvåkning og bruk av sensorer bør det vurderes å tilrettelegge nye kummer slik at det er lett eller mulig å installere utstyr på sikt. Tilretteleggingen kan inkludere:

- Ekstra ring med mulighet for uttak av vannstrøm
- Strøm
- Kommunikasjon
- Nok plass

Oppsummering kapittel 4 – Overvåkning i praksis

- Ulike prøveinnhentingsteknikker for ulike formål
- Fordeler med hyppigere målinger
 - Avdekke sporadiske hendelser
 - Trender
 - Sammenligning med driftsparametere for årsakssammenheng
- Gode systemer for datalagring gjør det lettere å nyttiggjøre resultatene
- 100 års-perspektiv: nye kummer bør tilrettelegges for måleutstyr.

5. Hvordan tolke data

Data i sammenheng – det ligger mye skjult kunnskap i eksisterende data.

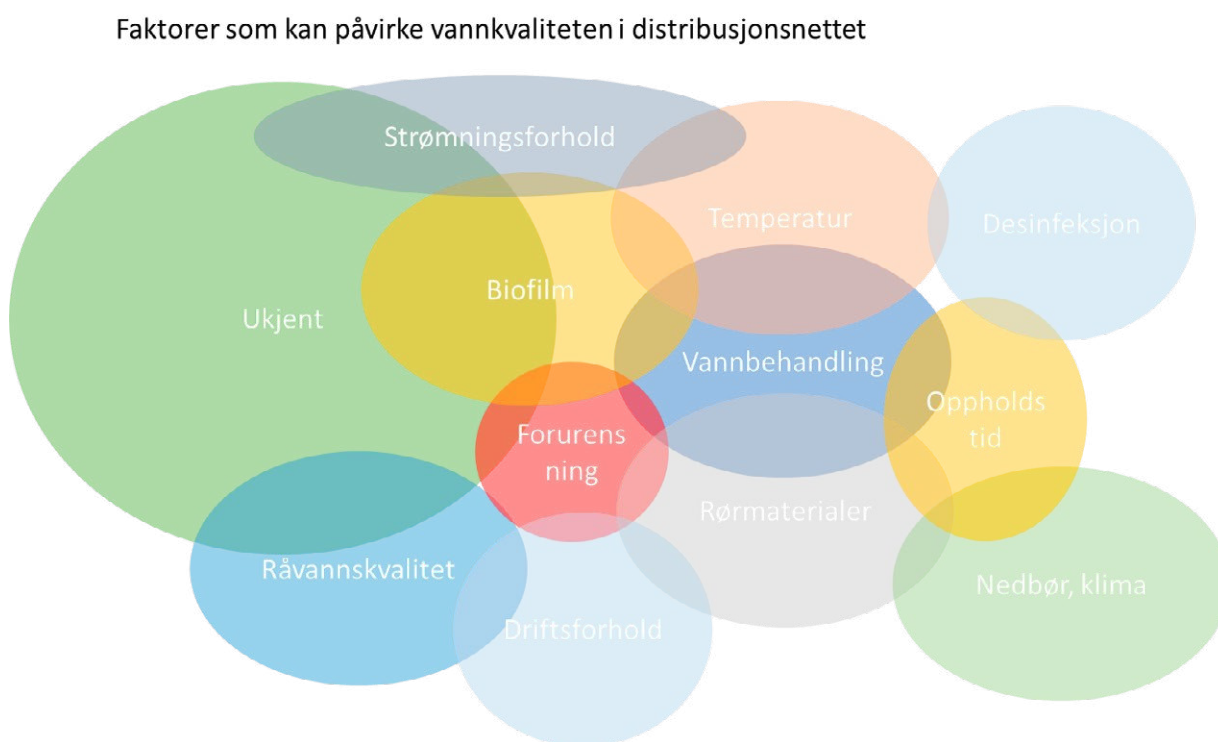
Det er i tolkningen av datamaterialet den store gevinsten ligger. Svært få metoder brukes uten tolkning av

resultatene, men det er ulikt hvor ressurskrevende det er å bearbeide datamaterialet. Det krever for eksempel en annen tilnærming å tolke online-data enn stikkprøver. I dette kapitlet finner du tips til tolkning av data og eksempler fra styringsgruppen.

5.1. Tips

Det kan ligge mye arbeid bak det som kan virke som enkle konklusjoner. Siden vi jobber med komplekse og dynamiske system er det mye som må sjekkes før man kan trekke slutninger. Kan endringer skyldes endring i råvannskvalitet? Eller forhold på vannbehandlingsan-

legget? Er det noe som oppstår ved spesielle værforhold eller har det vært hendelser på nettet som kan ha påvirket kvaliteten? Ofte kan det være flere årsaker til redusert vannkvalitet (se figur 34).

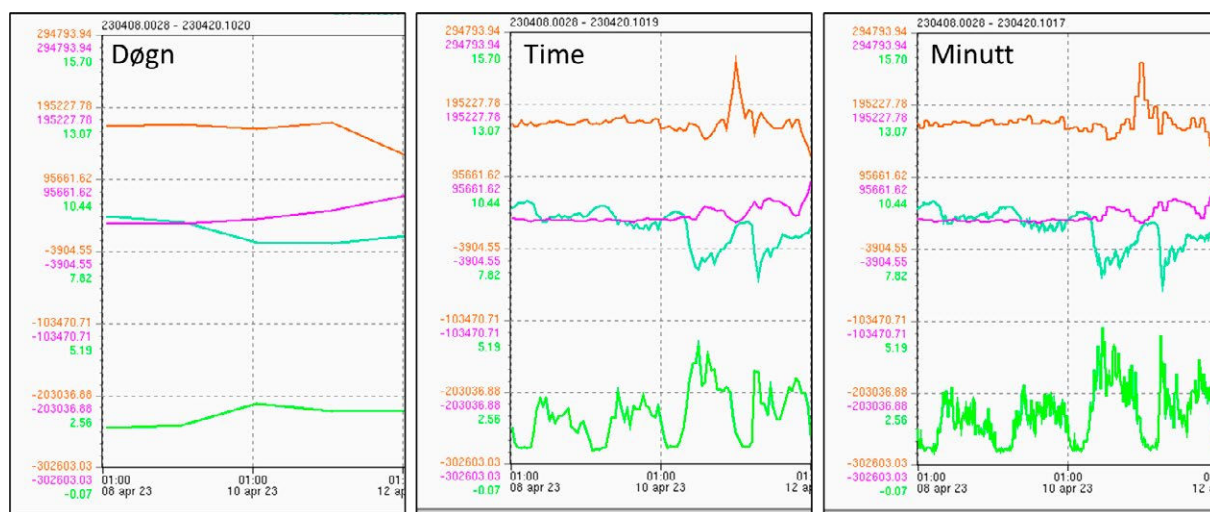


Figur 34: Faktorer som kan påvirke vannkvaliteten i distribusjonsnettet (ikke uttømmende).

I tolkningen av datamateriale er det derfor viktig å holde oversikt og jobbe systematisk gjennom mulighetene. I listen under er det oppgitt noen punkter som kan være nyttige å undersøke nærmere ved tolkning av datamaterialet.

- Har du andre data du kan sammenligne med?
 - Råvann/rentvann vannbehandling
 - Trykk, turbiditet, vannføring
 - Nedbørsdata
 - Hendelseslogg
 - Historiske data?
 - Hva er normal verdi? Etablert baselinje?
 - Flere parametere i samme diagram for å se på sammenhenger (NB: Kan være en utfordring ved ulike akser)
- Kjenner du systemet godt nok?
 - Hvor går vannet?
 - Stemmer antakelsen i virkeligheten? - Sjekk!
- Driftssituasjonen
 - Problemer eller hendelser?

- Endring i forsyningssituasjon
- Arbeid på nettet
- Anleggsvirksomhet
- Geografi
 - Er det de samme punktene som går igjen?
- Instrumentfeil
 - Tilstopping, kjemikalier, rengjøring
 - Tegn: drifting, rare verdier/mønster
- Skalering
 - Sørg for at aksene er innenfor området som er interessant. Sil ut topper som skyldes andre forhold (se eksempel i figur 36 og figur 37)
- Oppløsning
 - Topper kan skjules ved feil oppløsning.
 - SCADA-system henter ofte ut gjennomsnittsverdier (se figur 35)
- Liste opp mulige feilkilder
 - Kan tolkningen være feil?
- Diskuter med en venn
 - Ofte lettere å tenke høyt



Figur 35: Oppløsning: døgn-, time- og minuttverdier. Vannkvalitet (celletall) og driftsparemetere (trykk og mengde).

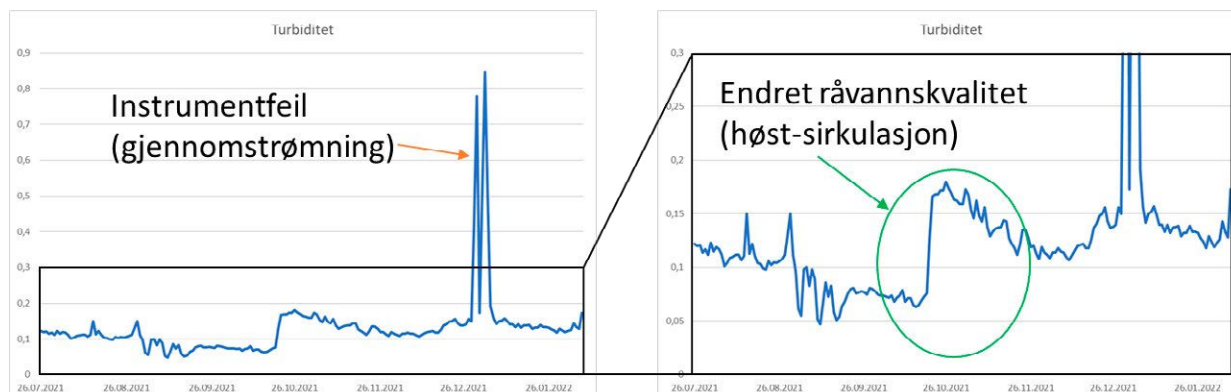
5.2. Konkrete eksempler

I dette kapittelet gis det konkrete eksempler på sammenstilling og tolkning av data.

5.2.1. Sporing av vannkvalitet gjennom systemet

En turbiditetsmåler ble installert på utløpet på et høydebasseng i forbindelse med et FoUI-prosjekt. Instrumentet som ble brukt er beskrevet under erfaringsskjema i vedlegg E (AquaSqt). Da turbiditeten

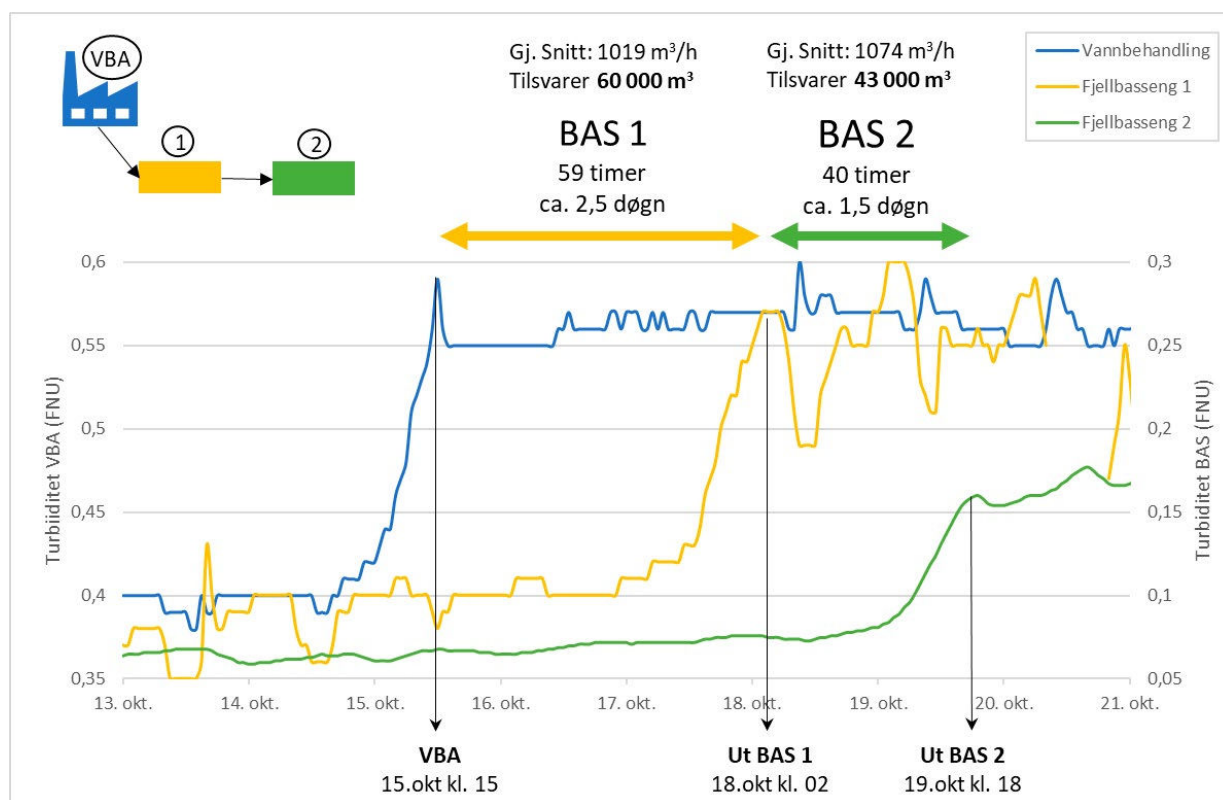
økte til rundt 0,8 FNU (se figur 36) ble det gjort undersøkelser. Det viste seg at gjennomstrømningen på instrumentet var kraftig redusert og at dette førte til turbulens som skapte høye signaler. Ved å se nærmere på datamateriale og utelukke støyen fra instrumentfeilen oppdaget man en økning i turbiditet utenom det vanlige. Denne sammenfalt med tid for omrøring i kilden ved vannbehandlingsanlegget (VBA).



Figur 36: Utsnitt av turbiditetslogg etter et høydebasseng. T.v. er det en stor topp som skyldtes instrumentfeil. T.h. er samme tidsutsnitt, justert akse slik at det er lettere å se den faktiske variasjonen i vannkvalitet. Toppen markert i grønt kunne spores gjennom systemet og skyldtes endring i vannkvaliteten ut fra vannbehandlingsanlegget.

Etter vannbehandlingsanlegget går vannet gjennom to bassenger, med et kort ledningstrekk mellom (se figur 37). Da det også tilfeldigvis sto en turbiditetsmåler etter det første bassenget (annet prosjekt) kunne vi følge vannets vei gjennom turbiditetsmålinger siden også turbiditeten måles ved vannbehandlingsanlegget. Ved å måle tiden det tok før vannkvaliteten nådde de ulike

punktene kunne man ved hjelp av vannføringsdata komme frem til hvor stort volum bassengene inneholdt. Dette viste seg å være 70-100% større enn det som var oppgitt (bekreftet av undersøkelser i ettertid). Dette betyr at vi har nesten dobbel kapasitet av det vi trodde, noe som har innvirkning på drift, beredskap og planarbeid.



Figur 37: Sporing av turbiditetsendring gjennom distribusjonsnettet.

Læringspunkt:

- Positiv bieffekt utenfor det prosjektet egentlig skulle svare på.
- Ved store endringer i vannkvalitet ved vannbehandlingsanlegget f.eks. under høstsirkulasjon kan dette brukes til å spore vannets vei gjennom systemet.
- Bassengene hadde mye større volum enn vi trodde (viktig info for drift, beredskap og planlegging).
 - Fordel: Økt kapasitet. Ved forurensning av vann fra VBA har man 2,5-4 døgn før vannet når de fleste abonnentene.
 - Ulempe: lang oppholdstid – ugunstig for vannkvalitet.
- Flere sensorer – gjør at man kan sammenligne. Se dynamikken mellom vannbehandling og distribusjon.
- Ulike akser på råvann og rentvann – men kan følge trenden/toppen.
- Kombinerte innhentet data med kunnskap om systemet og sammenstilte det.

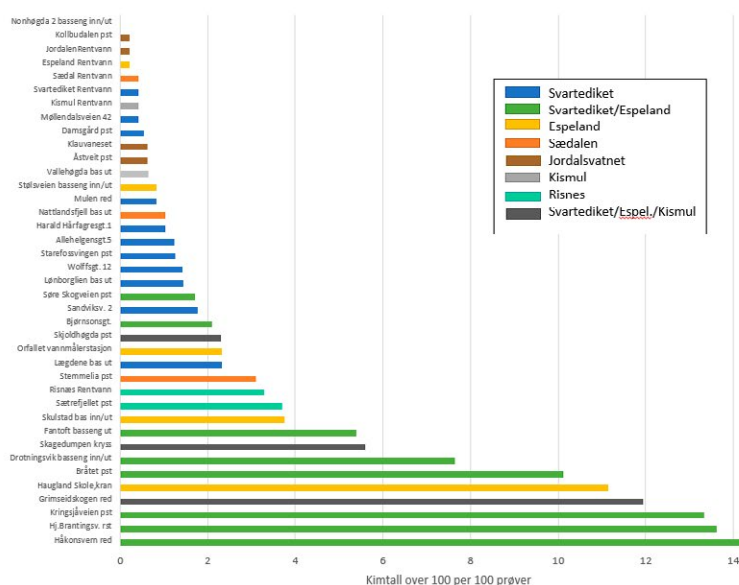
5.2.2. Systematisering av historiske vannkvalitetsdata

En av fordelene med rutineprøvene er at store datasett er innhentet over tid. En prøve med høyt kimtall sier kanskje ikke alltid så mye på egenhånd, men om vi ser på trender over tid kan vi finne mer informasjon om systemet vårt. Eksempelvis kan det vise seg at det er sammenhenger som at en forhøyet verdi dukker opp på samme tid hvert år, eller at det er enkelte prøvepunkt som går igjen i funn av indikatorer. Dette kan gi et godt innblikk i hvor man bør prioritere videre risikovurdering.

Case fra Bergen:

Hver høst kommer det ofte høyt kimtall i et område vest i Bergen. Spørsmål vi ønsket svar på:

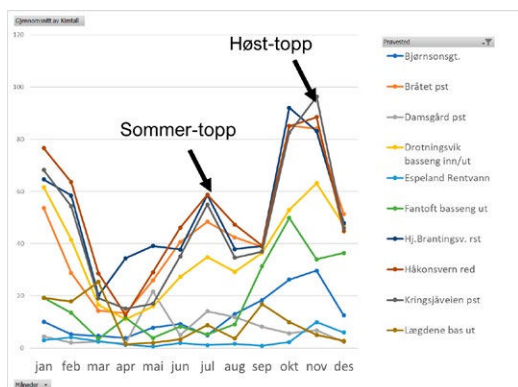
- Er det egentlig mer der enn andre steder? Er det korrelasjon med oppholdstid? Er det pga. blandingsvann?



Figur 38: Relativ forekomst av høyt kimtall i Bergen. Et område i vest skiller seg ut. Disse punktene har også de høyeste gjennomsnitts- og medianverdiene.

Alle kimtallsdata fra de siste 10 årene for alle prøvepunkt ble lastet ned og videre behandlet i Excel. Prøvestedene ble sortert etter hvor ofte det forekom funn av høye kimtallsverdier. Det var en tydelig overvekt av prøvestedene i et geografisk område (se figur 38). Videre analyse av datamaterialet viste at kimtallet har to toppe i året (se figur 39). På høsten kan problematikken forklares ut fra økende temperatur og næring i

vannet. Den viser også en indikasjon på at det øker med oppholdstiden. Sommertoppen derimot er vanskeligere å forklare da vannet er kaldt og næringsfattig pga. sjikning i råvannskilden. Sommertoppen oppstår etter et av høydebassengene i sonen. Dette var bakgrunnen for at det ble satt i gang videre undersøkelser i dette området, noe som har avdekket flere svakheter i systemet.



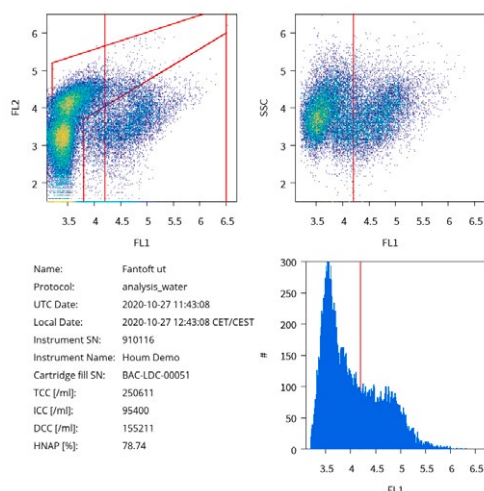
Figur 39: Gjenomsnittlig kimtall fordelt på måneder av året fra 2011-2020.

Læringspunkt:

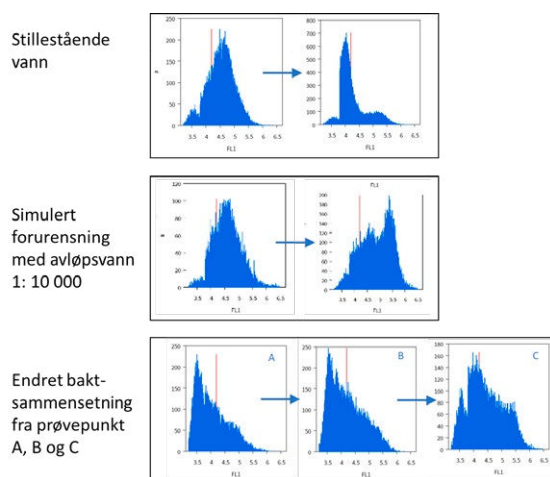
- Samme prøvepunkter går igjen over tid
- Var klar over problem på høsten, men ikke sommeren
- Et problem kan gjerne være sammensatt. Her: ulike grunner til høyt kimtall.

5.2.3. Tolkning av flowcytometer-data

De fleste sensorer gir numeriske verdier, altså et tall som sier noe om den målte parameteren. Et flowcytometer gir også numeriske verdier i form av antall celler. Tallet kommer fra antall registrerte celler innen et gitt område i et plott (se figur 40). Dette plottet inneholder likevel mye mer informasjon enn en numerisk verdi. Fordelingen av prikkene (cellene) sier noe om hvilke egenskaper de har. Cellene til høyre er større, mer komplekse eller mer aktive enn cellene til venstre. Det ligger stort potensiale i å tolke disse plottene. For mer avanserte brukere kan ulike programvarer benyttes for å tolke dybdeinformasjonen i disse.



Figur 40: Flowcytometer-data. De røde områdene markerer grensene for hvilke signaler (celler) som skal telles.

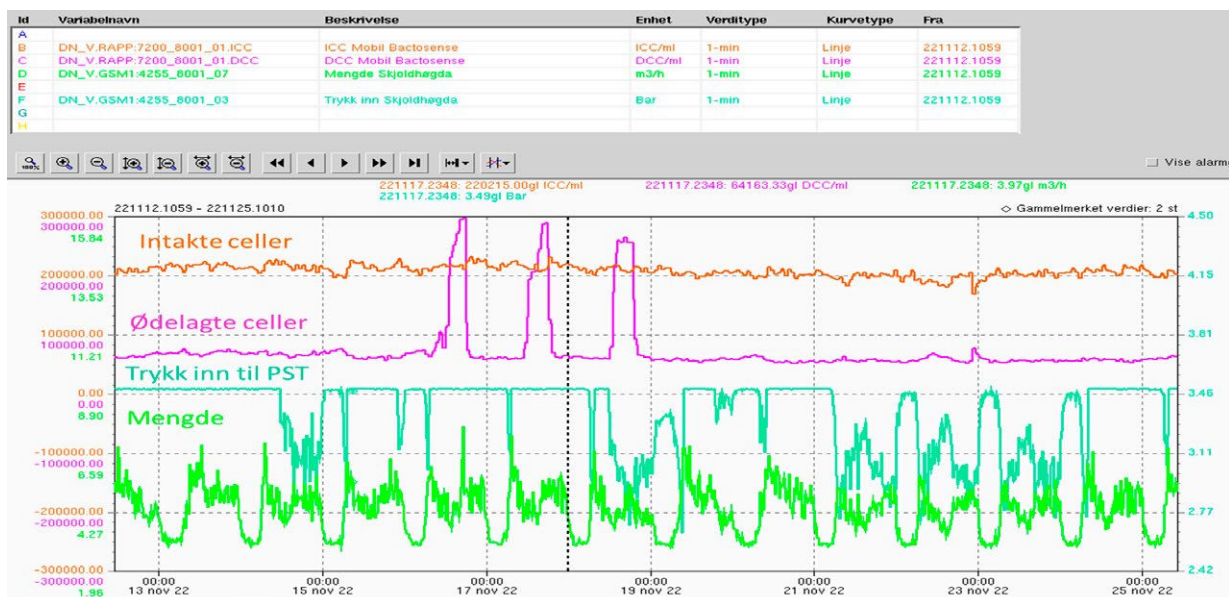


Figur 41: Eksempler på endring i FCM-fingerprint.

Noen ganger er det lett med det blotte øyet å se endringer i plottene. Se eksempler i figur 41.

Læringspunkt:

- Instrumentet gir mer informasjon utover de numeriske verdiene.
- Mer kunnskap, kompetanse og programvare trengs for å utnytte det fulle potensialet i informasjonen instrumentet innhenter.



Figur 42: Online-måling av celletall i en pumpestasjon på distribusjonsnettet. Minuttverdier.

5.2.4. Online-overvåking av ukjent hendelse:

Figur 42 viser et utsnitt av online flowcytometer-data og driftsparametere i nærheten. Det er tilsynelatende ingen unormale trykkforhold eller endringer i mengder som forklarer toppene. Planlagte steg i oppfølgingen videre er listet under.

Videre oppfølging:

- Sammenligning med trykkstøtloggere - bedre oppløsning på loggingen
- Hvilke mønster ser vi? Spesielle tidspunkt på dagen?
- Kan det skyldes dårlig tilbakeslagsventil på f.eks. et basseng (med klor)?
- Kan det skyldes høyt forbruk hos industri? F.eks. i forbindelse med vasking?
- Sjekke vannmålere i området

5.2.5. Høy forekomst av koliforme bakterier i Oslo

I 2017 ble analysemetoden for koliforme bakterier i Drikkevannsforskriften endret, blant annet ble inkubasjonstiden utvidet. Etter denne endringen ble det på Oslos drikkevannsnett observert en økning i antall prøver med funn av koliforme bakterier. Funnene kunne ikke relateres til hendelser på nett, endring i temperatur eller årstidsvariasjoner. Bakteriene ble artsbestemt til koliforme bakterier som finnes naturlig i jord og vann, og det kunne dermed utelukkes at dette var et resultat av fekal forurensing. Funnene av koliforme bakterier var begrenset til et område av byen som får forsynt drikkevann fra et vannbehandlingsanlegg i Oslo. For å finne årsaken til økte nivåer av koliforme bakterier på

ledningsnettet ble derfor drikkevannsbassengene på vannbehandlingsanlegget inspisert, samt at det ble laget en plan for en grundig gjennomgang av prosessen (vannets vei). Samtidig ble det utført utvidet prøvetaking der molekylærbiologiske analysemetoder, som Flowcytometri (FCM), metagenom analyse med 16S rRNA sekvensering, ATP-analyser og bakterielt vekstpotensial (BGP) ble utført på alle prøvepunkter som ble forsynt med drikkevann fra dette anlegget.

På det aktuelle vannbehandlingsanlegget ble det benyttet råvann til å blande ut kalk til pH-justering. Kalkblandingen brukes til å øke pH i behandlet vann og tilsettes også etter de hygieniske barrierene filtrering, UV og klor. Historisk ble det vurdert at den høye pH-en (på 13-14) i kalken ville ta livet av alt av mikroorganismer som kom i kontakt med kalkblandingen. Ved gjennomgang av vannbehandlingsprosessen ble det vurdert at bruk av råvann til utblanding av kalk kunne være en kilde til koliforme. Mistanken ble forsterket ved at det var høyest forekomst av koliforme i sedimentene i høydebassenget rett etter tilførselsledningen fra vannbehandlingsanlegget. I tillegg viste artsbestemmelse at de bakteriene som hyppigst forekom i prøvene, er koliforme bakterier med en optimal vekst ved pH 9, og vil også kunne overleve høyere pH. I tillegg til tilførsel av mikroorganismer er det en mulighet for at organisk materiale blir sendt ut på ledningsnettet via råvannet, noe som kan skape bedre vekstvilkår for bakterier som allerede har etablert seg på nettet.

Vannbehandlingsanlegget ble på bakgrunn av dette tatt ut av drift oktober 2022 for å stoppe tilførselen og utrede løsninger for prosessvann til kalkvannet. Kort tid etter at anlegget ble tatt ut av drift begynte nivåene av koliforme bakterier å gå ned på alle prøvepunktene som hadde hatt forhøyede nivåer, og våren 2023 nærmer det seg et akseptabelt nivå.

Prosjektet fortsetter med utvidet prøvetaking og bruk av nevnte molekylærbiologiske analysemetoder. Dette har resultert i mye data om hvordan drikkevannskvaliteten har endret seg fra før til etter vannbehandlingsanlegget ble tatt ut av drift, og det blir interessant å se hvordan dette påvirkes når oppgraderingene på anlegget er ferdig og det settes i drift igjen. Kunnskap om hvordan vekstpotensialet for bakterier (næringen de har tilgjengelig i drikkevannet), bakterievekst og sammensetningen av bakterier på ledningsnettet har endret seg gjennom denne store driftsendringen har vært viktig, og når alt av datagrunnlag er ferdig sammenstilt vil dette gi oss mye ny kunnskap om drikkevannskvalitet.

Læringspunkt:

- Situasjonen var annerledes enn man trodde (råvann til kalkdosering)
- Sekvenseringsresultatene var med på å understøtte teorien om kilden til bakteriene

5.2.6. IVAR: Enkel modell for beregning av oppholdstid

IVAR har blant annet benyttet rørdimensjoner og lengder for å beregne oppholdstider til de ulike delene av forsyningsnettverket basert på ulike vannmengder fra vannbehandlingsanlegget. Dette kan være enkelt og nyttig for deler av nettet med store overføringsledninger og få forgreningspunkter eller små vannverk med oversiktlig forbruk.

Fremgangsmetoden var enkel. Ved hjelp av et Excel-ark ble hvert ledningsstrekk listet opp med lengde og dimensjon. Dette gir volumet i ledningene frem til et gitt leveringspunkt. Ved å justere vannmengden kan tiden til hvert punkt beregnes. Ved å lage et par ferdige eksempler ved ulike «normale» verdier for vannmengde for anlegget får man et omtrentlig inntrykk av oppholdstiden til gitte punkt som gir rask informasjon når man trenger det.

Læringspunkt:

- Det trenger ikke alltid være så avansert for å gi stor nytteverdi

Oppsummering kapittel 5 – Hvordan tolke data

- Se data i sammenheng (råvann – rentvann – distribusjonsnett)
- Det ligger mye skjult kunnskap i eksisterende data – bruk de
- Sørg for god oversikt over driftssituasjonen

6. Andre erfaringer

6.1. Internasjonale erfaringer

Graden av overvåkning av vannkvalitet på distribusjonsnettet internasjonalt er sprikende. Det er stor variasjon i typer råvannskilder, distribusjonsnett og hvilke utfordringer som har fokus. Flere land i Europa har begrensede vannforekomster og har som følge svært lav lekkasjeandel og god kontroll med distribusjonsnettet.

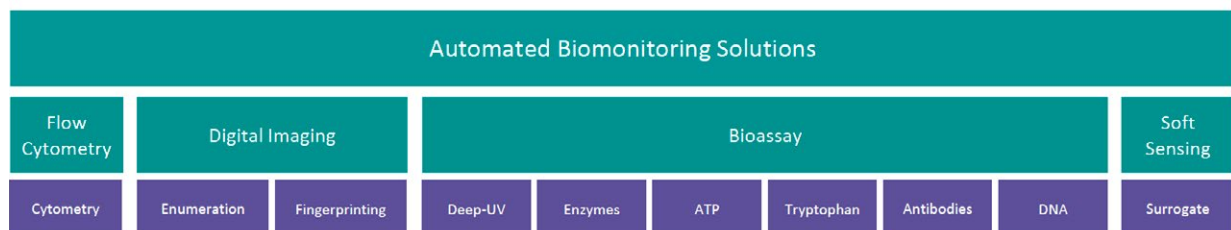
Av land som bemerker seg i bruk av avansert overvåkning av distribusjonsnettet er Sverige, Nederland og Sveits langt fremme. Her brukes bl.a. flowcytometer og andre biomonitorer. Noen bruker det aktivt i driften, mens det er mer vanlig som et verktøy for spesifikke prosjekter og undersøkelser på nettet. Sveits benytter for eksempel ATP som en rutineparameter på distribusjonsnettet med gitte alarmgrenser.

Av internasjonal litteratur anbefales en rapport fra Svenskt Vatten som oppsummerer erfaringer med bruk av mikrobiologiske analyser for biostabilt vann (Danielsson M., et al., 2022). Her er det bl.a. benyttet flowcytometer og DNA-sekvensering for å overvåke mikrobiologiske forhold i ledningsnettet som effekten av klor og nye ledningsmaterialer.

6.1.1. Biomonitoring group – internasjonalt nettverk for bruk av biomonitorer

I 2022 deltok Bergen Vann sammen med to andre vannverk i Belgia og Nederland i et nettverk for deling og informasjon om bruk av biomonitorer i drikkevann i regi av organisasjonen Isle. Målet var å skaffe en oversikt over tilgjengelige løsninger for overvåkning av mikrobiologisk drikkevannskvalitet.

Det ble samlet en oversikt over relevante teknologier som var klare eller nært klar for praktisk bruk. Figur 43 viser en oversikt over kategorier som ble gjennomgått. Erfaringsinnhenting ved bruk av ulike biomonitoreringsteknologier viste at bruken i stor grad er knyttet til spesifikke problemstillinger og prosjekter. I England er det eksempler på at bl.a. flowcytometri blir brukt i den daglige overvåkingen, men da på vannbehandlingsanlegg.



Figur 43: Kategorisering av biomonitoreringsmetoder fra Biomonitoring Group. Hentet fra Isle 2022.

Oppsummeringen fra gjennomgangen var:

DNA-baserte metoder: gode og spesifikke metoder, men har begrensninger knyttet til levende/døde patogener.

Mikroskopibaserte metoder: Relativt enkelt oppsett med mikroskopidelen, men programvaredelen er en signifikant faktor for utbyttet av metoden. Kan ikke skille mellom levende og døde.

Biosensorer (dyp UV, tryptofan, enzymer, ATP): kan ofte skille på levende og døde, men har andre ulemper som bruk av reagenser.

Flowcytometri: er allsidig metode som er godt etablert, men krever reagenser og tolkning av data.

Erfaringen fra de ulike brukerne av biomonitorering er at fordelene er å bruke nye verktøy for å gi mer informasjon om systemet. Utfordringer er databehandling (validering, lagring, dataflyt, tolkning og sammenstilling), dedikert personell, kostnader, organisatoriske utfordringer og implementering i langsiktig strategi.

Oppsummering kapittel 6 – Internasjonale erfaringer

- Noen land bruker avansert mikrobiologisk overvåkning av drikkevann på distribusjonsnettene, men inntrykket er at det ikke er veldig utbredt.
- Flowcytometer og enzymbaserte metoder er godt etablerte, men metoder som digital mikroskopi, ulike spektrometriske metoder (dyp UV) og smarte sensorer er på vei inn i markedet.

7. Referanser

- Bitton, G. (2014). *Microbiology of drinking water*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Bruaset, S., Becker, M. A., Reksten, H., & Baade-Mathiesen, T. (2021). *Kommunalt investeringsbehov for vann og avløp 2021-2040*. Norsk Vann rapport A259/21.
- Danielsson M., H. L.-L., Danielsson, M., Holmer, L., Hellström, D., Schleich, C., Keucken, A., . . . Rådström, P. (2022). *Mikrobiologisk analys för biostabilt dricksvatten*. Svensk Vatten.
- Eikebrokk, B., & Et.al. (2021). *Uavhengig gransking av hendelse ved Kleppe vannverk 2019*. Sintef.
- EØS-notat. (2022, September 9). *Drikkevansdirektivet 2020/2184*. Retrieved from [www.regjeringen.no](https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2018/sep/nytt-drikkevansdirektiv-2018-2019/id2615569/): <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2018/sep/nytt-drikkevansdirektiv-2018-2019/id2615569/>
- Folkehelseinstituttet. (2018, November 19). Om stoffer i drikkevann. Retrieved 2022, from [https://www.fhi.no/nettpub/stoffer-i-drikkevann/om-stoffer-i-drikkevann/](https://www.fhi.no/nettpub/stoffer-i-drikkevann/om-stoffer-i-drikkevann/om-stoffer-i-drikkevann/)
- Guzman-Herrador, B., De Blasio, B., Lund, V., MacDonald, E., Vold, L., Wahl, E., & Nygård, K. (2016). *Vannbårne utbrudd i Norge i perioden 2003-12*. Tidsskrift for den Norske Legeforening.
- Hem, L. J., & Østerhus, S. W. (2010). Vannkvalitetsendringer i distribusjonssystemet for drikkevann. *Tidsskriftet Vann, 2010*. Retrieved from https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2010_798994.pdf
- Hrudey, S. E., & Hrudey, E. J. (2019, 09 01). Common themes contributing to recent drinking water disease outbreaks in affluent nations. *Water Supply*, pp. 1767-1777. doi: <https://doi.org/10.2166/ws.2019.051>
- Hultman, M., & Wennberg, A. (2018). *Hurtigmatoder for online deteksjon av mikrobiell forurensning i vann*. Norsk Institutt for Vannforskning.
- Høiset-Gilje, K., Lie, C. M., Hernes, S. M., Riiser, J. E., & Skogli, E. (2020). *Hvordan lykkes med gjennomføring av innovasjonsprosjekter i kommunesektoren*. Menon economics. Retrieved from <https://www.menon.no/wp-content/uploads/2020-18-Delrapport-2.pdf>
- Jade S.T. Ward, D. J., Ward, J. S., Lapworth, D. J., Read, D. S., Pedley, S., Banda, S. T., . . . MacDonald, A. M. (2021). Tryptophan-like fluorescence as a high-level screening tool for detecting microbial contamination in drinking water. *Science of The Total Environment*. Retrieved from (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720348130>)
- Jakopanec, I., Borgen, K., Vold, L., Lund, H., Forseth, T., Hannula, R., & Nygård, K. (2008). A large waterborne outbreak of campylobacteriosis in Norway: The need to focus on distribution system safety. *BMC Infectious Diseases*. doi: <https://doi.org/10.1186/1471-2334-8-128>
- Johansen, G. H., Seim, A., & Gjesdal, A. (2005). *Giardia lamblia-epidemien i Bergen høsten 2004. Parasitten, vannverkene i Bergen, epidemien og jakten på kilden*. Rådgivende biologer.
- Kleppen, M. H., Bomo, A. M., & Liane, S. F. (2020). *Forvaltning av nedbørsfelt for drikkevann - en veiledning*. Norsk Vann rapport A254/20.
- Kleppen, M. H., Bomo, A. M., Kalheim, F. C., Andersen, J. H., Ragvin, N., & Været, L. (2022). 269/2022: *Risikovurdering av bergsprengte drikkevannsmagasin*. Norsk Vann.
- Kvile, G. (2016, Januar 26). Kvinne (55) tilkjent tre millioner kroner fra kommunen etter å ha blitt smittet av Giardia. *Bergensavisen*. Retrieved from <https://www.ba.no/nyheter/medisin-og-helse/rettssaker/kvinne-55-tilkjent-tre-millioener-kroner-fra-kommunen-etters-a-ha-blitt-smittet-av-giardia/s/5-8-263228>
- Lindholm, O. G. (2020). 258/2020: *Rekrutteringsbehov i vannbransjen*. Norsk Vann rapport A258/20.
- Moreira, N. A., & Bondelind, M. (2017). Safe drinking water and waterborne outbreaks. *Journal of Water and Health*.
- NTNU. (2023, april 27). *Smart Water*. Retrieved from United Future Lab: <https://www.united-futurelab.no/prosjekt/smart-water/>
- Nygård, K., Wahl, E., Krogh, T., Tveit, O., Bøhleng, E., Tverdal, A., & Aavitsland, P. (2007). *Breaks and maintenance work in the water distribution systems and gastrointestinal illness: A cohort study*. International journal of epidemiology.
- Paruch, M. A., Paruch, L., & Mæhlum, T. (2017). *Kildesporing av fokal vannforurensing med molekylærbiologiske metoder*. NIBIO og Norsk Vann. Retrieved from <https://va-kompetanse.no/butikk/c-13-kildesporing-av-fokal-vannforurensing-med-molekylærbiologiske-metoder/>
- Rakstang, J. R., Waak, M. B., Rokstad, M. M., & Hallé, C. (2021). Demonstrating the potential of salt tracer studies to improve Norwegian drinking water - network models and water age estimates. *Vann*, pp. 61-69.
- Riksrevisjonen. (2023). *Myndighetenes arbeid med trygt drikkevann*. Retrieved from <https://www.riksrevisjonen.no/globalassets/rapporter/NO-2022-2023/myndighetenes-arbeid-med-trygt-drikkevann.pdf>

- Sintef. (2021, mai 25). *INVAPRO - Intelligente vannprosesser*. Retrieved from sintef.no: <https://www.sintef.no/prosjekter/2020/invapro-intelligente-vannprosesser/>
- Tryland, I., Hindar, A., Valina, S., Skjelbred, B., Tjomsland, T., Kempa, M., . . . Moe, T. F. (2016). *Forurensningsanalyse - Farrisvannet*. NIVA.
- Valaker, O., Flaaten, G., & Dregelid, S. (2012, Juni 14). Giardia-ofre får millionbeløp. *Bergens Tidende*. Retrieved from <https://www.bt.no/nyheter/lokalt/i/9bn2r/giardia-ofre-faar-millionbeloep>

8. Vedlegg

A. Liste over parametere, bruksområde, fordeler og ulemper

Tabell 2: Utvalg av vanlige parametere for overvåkning av drikkevann med beskrivelse og fordeler/ulemper.

NB: Forenklet oppsummering av fordeler og ulemper.

Parameter	Beskrivelse	Fordeler	Eventuelle ulemper	Grenseverdi/tiltaksgrense*
Mikrobiologiske				
<i>E. coli</i>	Bakterier som finnes i store mengder i avføringen til mennesker og dyr. Indikerer at vannet har vært i kontakt med avføring og at andre sykdomsfremkallende mikroorganismer kan være til stede. Skal ikke forekomme i drikkevann.	God indikator på tilstedeværelse av fersk fekal forurensning.	Ulike virus og bakterier har forskjellig evne til overlevelse i miljøet. <i>E. coli</i> dør relativt lett sammenlignet med andre patogene bakterier.	0
Koliforme bakterier	Gruppe bakterier som finnes i tarmen hos mennesker og dyr, men kan også stamme fra miljøet (vann og jord). Kan tyde på svikt i vannforsyningssystemet (svikt i vannbehandling, inntrengning av fremmedvann, fekal forurensning eller vekst av biofilm (sjelden)). Noen arter er opportunistisk patogene. I fersk avføring/råkloakk utgjør ofte <i>E. coli</i> en stor andel av de koliforme bakteriene, men dette forholdstallet synker gjerne i vannmiljøet siden <i>E. coli</i> dør raskere.	God indikator på at noe ikke er som det skal.	Ikke entydig fekal opprinnelse.	0
TKB	Termotolerante koliforme bakterier (koliforme bakterier som kan vokse ved ≥ 44 °C). Større gruppe bakterier der <i>E. coli</i> er en undergruppe.	Mer spesifikk enn koliforme.	Mindre spesifikk enn <i>E. coli</i> . Ikke lenger mye brukt i drikkevannssammenheng.	
Intestinale enterokokker (IE)	Bakterier som, i likhet med koliforme bakterier, finnes i høye konsentrasjoner i avføring fra dyr og mennesker (gjern 1-2 log ₁₀ lavere konsentrasjoner av IE enn koliforme bakterier og <i>E. coli</i>). Overlever lenger i vann enn <i>E. coli</i> , og kan ofte påvises i drikkevannskilder/vannmiljøet etter at <i>E. coli</i> ikke lenger påvises. Skal ikke forekomme i drikkevann. Dyr har generelt høyere andel intestinale enterokokker enn mennesker.	God indikator på fekal forurensning. Mer resistent for desinfeksjonsmidler enn <i>E. coli</i> .	Usikkerhet rundt verdien av parameteren som indikator for tilstedeværelse av virus. 2 dagers analysetid.	0
Kimtall	Antall bakterier som kan dyrkes på næringsmedium under gitte forhold, som regel 22°C.	Viser generell forekomst av bakterier.	Kun +/- 1% av alle bakterier kan dyrkes. 3 dagers analysetid.	100 og ingen unormal endring

Parameter	Beskrivelse	Fordeler	Eventuelle ulemper	Grenseverdi/ tiltaksgrense*
<i>Clostridium perfringens</i>	Tarmbakterie med lavere konsentrasjon i avføring. Bakterien dør raskt i kontakt med oksygen, men har evne til å danne sporer som kan overleve lenge, tilsvarende parasitter. Ved funn skal det analyseres for parasitter (<i>Giardia/Cryptosporidium</i>).	Tegn på gammel fekal forurensning.	Forekommer også i naturen (nedbryter av organisk materiale). Ikke entydig indikator for fekal forurensning.	0
ATP	Adenosintrifosfat. Energibæreren i alle celler. Ved å legge til et filtreringstrinn er det mulig å skille på løst ATP og total ATP. Dermed kan andelen ATP inne i celler beregnes som mikrobiell ATP.	Gir en generell indikasjon på nivå av biologisk aktivitet i vannet.	Ulik mengde ATP i ulike celler -> ikke proporsjonal med antall. NB: ikke bare bakterier og mikroorganismer.	
Celletall	Antall celler i vannet. Et flowcytometer måler celler i størrelsesorden der bakterier dominerer. Vanlige verdier i drikkevann kan være fra rundt 10^3 for f.eks. membranfilteranlegg til 10^5 intakte celler per milliliter for koagulering/filtrerings-anlegg.	Gir en generell indikasjon på nivå av celler i størrelsesorden tilsvarende bakterier i vannet. Gir noe informasjon om sammensetningen av bakterier.	Krever kartlegging av baselinje/normalvariasjon. Fortynnet forurensning kan forsvinne i mengden. Viser inaktiverede celler med UV som intakte.	
Somatiske kolifager	Virus som infiserer coli-bakterier. Virus som deler mange egenskaper med humane virus og som har bedre overlevelse enn <i>E. coli</i> .	Bedre indikator for fekal virusforurensning enn <i>E. coli</i> .	Usikkerhet rundt grenseverdi.	Ny parameter i revidert dvf. Foreslått tiltaksgrense.

Parameter	Beskrivelse	Fordeler	Eventuelle ulemper	Grenseverdi/ tiltaksgrense*
Kjemiske/fysiske				
pH	Vannets surhet. Vann med lavere pH enn anbefalt kan gi korrosjon på ledninger og løse opp helseskadelige stoffer fra rørmaterialer, f.eks. tungmetaller.	Enkel metode.	Begrenset informasjon.	Innenfor intervallet 6,5-9,5
Turbiditet	Mål på uklarheten i vannet. Måles ved lysspredning. Jo flere suspenderte partikler i vannet, jo mer lysspredning og høyere verdi. Kan skyldes partikler med ulikt opphav som løsrevet biofilm, utfellingsprodukter, sand og leire, resuspenderte sedimenter etc. Kan skyldes hastighetsendringer f.eks. i forbindelse med brudd/endringer i forsyningssituasjonen.	Enkel metode, generell indikator, kan måles online. God indikator på at det har skjedd endringer i forsyningssituasjonen.	Kan ikke si om vannet er forurenset eller ikke.	Akseptabel for abonnentene / ingen unormal endring
Konduktivitet/ lednings- evne	Måler vannets evne til å lede strøm. Sier noe om hvor mye løste salter og uorganiske forbindelser vannet inneholder. Generelt kan man si at saltvann vil ha høyere konduktivitet enn avløp. Generelt: Saltvann > avløp > drikkevann > regnvann > destillert vann. Overflatevann har svært stor variasjon i konduktivitet.	Store avvik fra normalverdi kan indikere kontaminasjon med fremmedvann.		250 mS/m
UV-absorbans	UV-absorbans (og motsatt UV-transmisjon). Mål på stoffer i vannet som absorberer lys med bølglengder i UV-spekteret.	Viktig driftsparameter for drift av UV desinfeksjon.		
Alkalitet	Alkalitet er vannets evne til å nøytralisere en sterk syre til en bestemt pH-verdi. Gir vannet bufferevne for å holde stabil pH. Positivt for korrosjonsbeskyttelse på distribusjonsnettet og hindre utlekking av f.eks. tungmetaller.	Viktig driftsparameter for vannbehandlingen.		
Klor-rest	Klorrest måler hvor mye reaktivt klor som er igjen i vannet etter en gitt tid. En målbar klorrest tyder på at det er benyttet nok klor for å desinfisere vannet og at vannet har en resterende desinfiserende effekt.	Viktig driftsparameter ved bruk av klordosering.		
Temperatur	Måler vannets temperatur. Kan indikere at noe ikke er som det skal. F.eks. stillestående vann, inntrengning av større mengder vann med annen temperatur, temperaturlagdeling i bassenger.			
Lukt /smak	Lukt og smak kan skyldes en rekke årsaker som f.eks. stillestående/gammelt vann, kjemikalier, klorbehandling, bakterier, vekst på nettet, salter og gasser.	Parameter som er viktig for abonnentene.	Subjektiv parameter.	Akseptabel for abonnentene / Ingen unormal endring
Aluminium/jern	Spesielt dersom det brukes fellingskjemikalier basert på disse grunnstoffene i vannbehandlingen.			0,2 mg/L

Parameter	Beskrivelse	Fordeler	Eventuelle ulemper	Grenseverdi/ tiltaksgrense*
Farge	Vannets farge i forhold til en standard fargeskala. Eksempler på stoffer som kan bidra til vannets farge er humus (naturlig organisk materiale: NOM), jern og mangan.	Viktig driftsparameter for vannbehandlingen (dosering av kjemikalier etc.).		Akseptabel for abonnentene / Ingen unormal endring
TOC	Totalt organisk karbon er et mål på alt organisk stoff i vannet. TOC ut fra vannbehandlingsanlegg bør være under 3 mg C/L. Kloring av vann med mye humus kan gi lukt- og smaksproblemer samt klorbiprodukter som kan ha helsemessig betydning.			Ingen unormal endring
DOC	Løst organisk karbon (DOC). Alt organisk stoff som passerer gjennom et filter med en viss porestørrelse. Angir mindre forbindelser som er lettere tilgjengelig for mikroorganismer.			
COD / BOD	Kjemisk oksygenforbruk (COD) og biologisk oksygenforbruk (BOD). Et mål på organisk stoff i vannet.			
Trykk	Vannet fordeles i distribusjonsnettets basert på trykkforskjell. Trykk måles ofte i bar og er sentral parameter for drift av ledningsnettets. Et utett ledningsnett vil være trygt så lenge trykket i ledningen holdes oppe. Undertrykk vil kunne føre til innsug av forurenset vann.	Viktig driftsparameter som også kan indikere at det har skjedd endringer på ledningsnettets. Registrering av undertrykk eller trykkløst nett indikerer fare for innsug av forurensning.	Ofte er ikke trykkmålere på nettet sensitive nok for å fange opp kortvarige/brå endringer i trykk.	

Kilder:

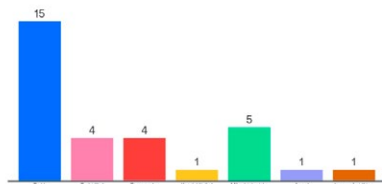
<https://www.fhi.no/ml/drikkevann/nasjonal-vannvakt/Hva-forteller-mikrobiologiske-drikkevannsanalyser/>

<https://www.fhi.no/nettpub/stoffer-i-drikkevann/kjemiske-og-fysiske-stoffer-i-drikkevann/kjemiske-og-fysiske-stoffer-i-drikkevann/>

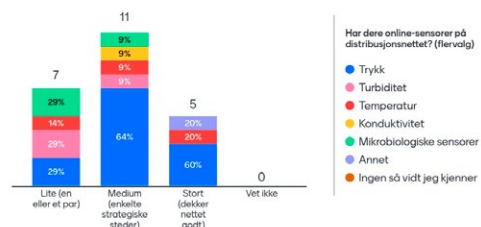
*Drikkevannsforskriften

B. Workshop arrangert 31.mars 2022 – svar fra spørreskjema

Har dere online-sensorer på distribusjonsnettet? (flervalg)



Hvor utbredt er dette i så fall?



Hva er det viktigste du/dere ønsker å oppnå med overvåkning?



Hva er flaskehalsen? Hva trenger du/din organisasjon for å bli bedre på overvåkning?



C. CASE: Simulert forurensning av avløpsvann i drikkevann

Bakgrunn

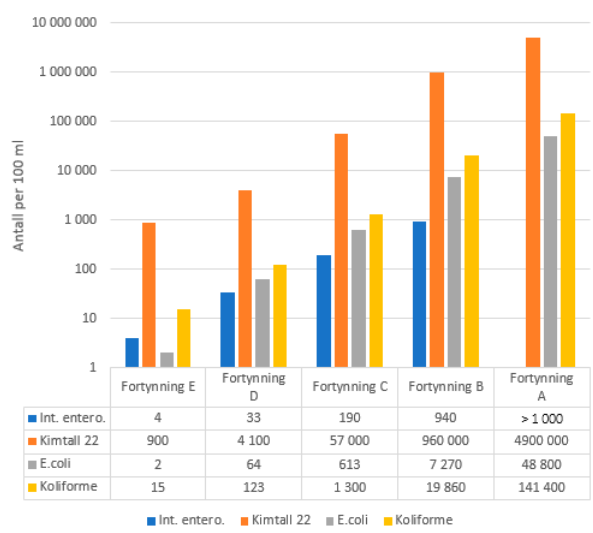
I forbindelse med FoU-prosjekt i Bergen kommune var det ønskelig å sammenligne ulike vannkvalitetsparametere mot flowcytometer-data. Spesielt var det ønskelig å se på hvilket fortynningsnivå FCM kan avdekke forurensning.

Metode

Fortynningsserier av avløpsvann fra avløpsrensaneanlegg i drikkevann fra distribusjonsnettet ble tillaget fra 1:100 (A) til 1:1 000 000 (E). Fortynningene, metodeprøve og rent drikkevann ble analysert for pH, turbiditet, farge, UV-transmisjon, total fosfor, konduktivitet, ATP, Intestinale enterokokker, kimtall, *E. coli*, koliforme og flowcytometer (TCC, ICC, DCC, HNAC og LNAC).

Resultater

Mikrobiologiske parametere:



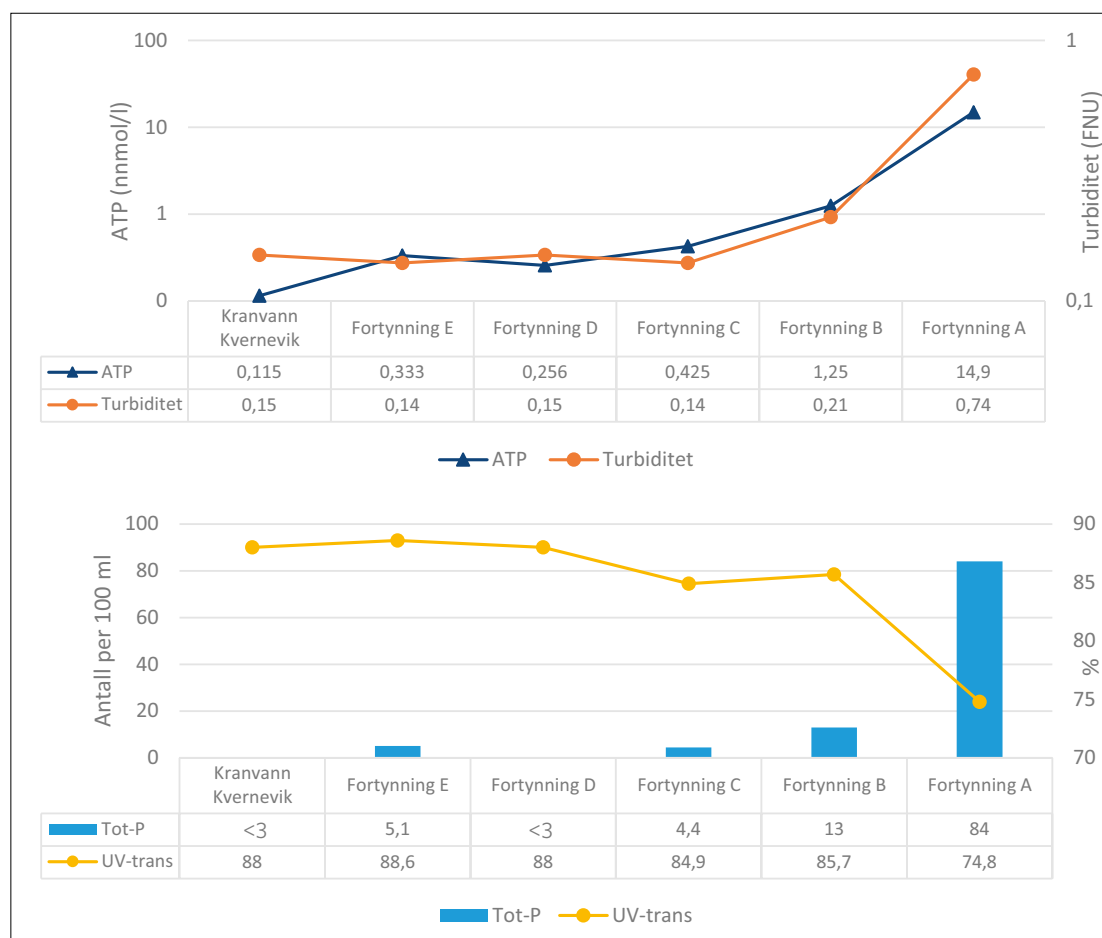
Figur 44: Resultater fra mikrobiologiske analyser av fortynningsprøver.

Fysiske/kjemiske parametere:

Farge, pH og konduktivitet ga ingen utslag i prøvene. Disse parameterne er derfor ikke egnet til oppdagning av forurensning med store fortynninger.

ATP og turbiditet viser en signifikant økning i fortynning B og A. ATP viser også en økning fra kranvann (0,115) til fortynning E (0,333), med en reduksjon til D (0,256) før ny økning til C (0,425). Sammenlignet med ATP-verdier fra andre prosjekt, er ATP på nettvann rundt 0,3 en relativt vanlig verdi (NB: ulik vannkvalitet).

Fosfor viser signifikant økning i fortynning B. UV-transmisjon viser en reduksjon i fortynning C, men øker litt fra C til B før en sterkere reduksjon i A. Det er usikkert om dette skyldes usikkerhet i prøver eller andre faktorer, spesielt siden det kun er gjort en måling. UV-transmisjon kan kanskje være av interesse som billig metode for oppdagelse av uvanlig vannkvalitet, men flere undersøkelser må gjennomføres.



Figur 45: Grafer med ATP, turbiditet, tot-P og UV-transmisjon.

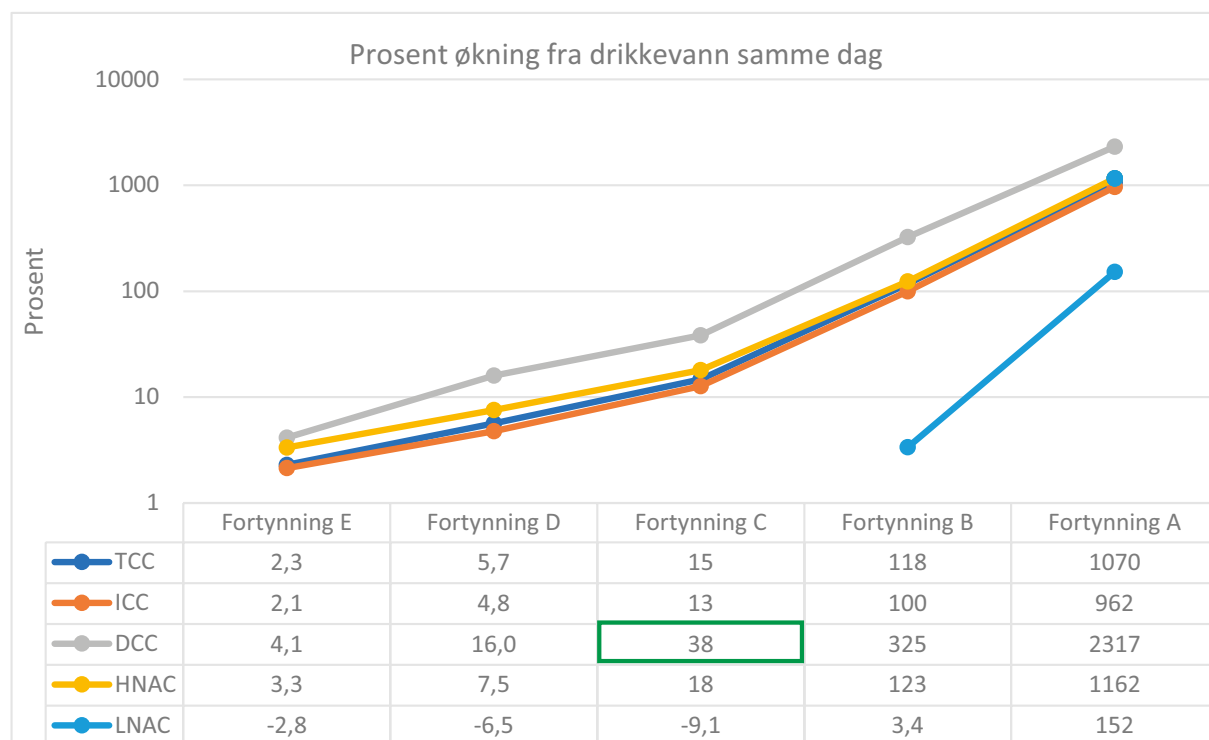
Flowcytometer:

Avløpsvann inneholder rundt 120 millioner celler per milliliter. Kranvann inneholder rundt 120 000 celler per milliliter, altså ca. 1000 ganger lavere. Ved måling viser flowcytometeret en prosentvis økning sammenlignet med kranvannet prøvene var fortynnet i allerede fra første fortynning på et par prosent (figur 46). Kranvannet har en naturlig variasjon på minst ti prosent samt noe sesongmessig variasjon. Det er også usikkerhet i

instrumentet. Det bør derfor være over 20 prosent avvik fra normal før man kan snakke om et utslag. Derfor er det ikke før fortynning B at man med sikkerhet kan si at det har skjedd en vesentlig endring i vannkvalitet som kan skyldes forurensning. I fortynning B har man en doubling av verdien, så i realiteten vil deteksjonsgrensen ligge et sted mellom fortynning C (1:10 000) og B (1:1000).

Et unntak er parameteren DCC som allerede ved fortynning C viser en økning på 38 %. Dette skyldes at avløpsvannet har en høyere prosentandel ødelagte celler enn kranvannet (se figur 47). En grunn til dette kan være f.eks. bruk av desinfeksjonsmidler, såpestoffer eller andre kjemikalier som fører til ødelagte celler.

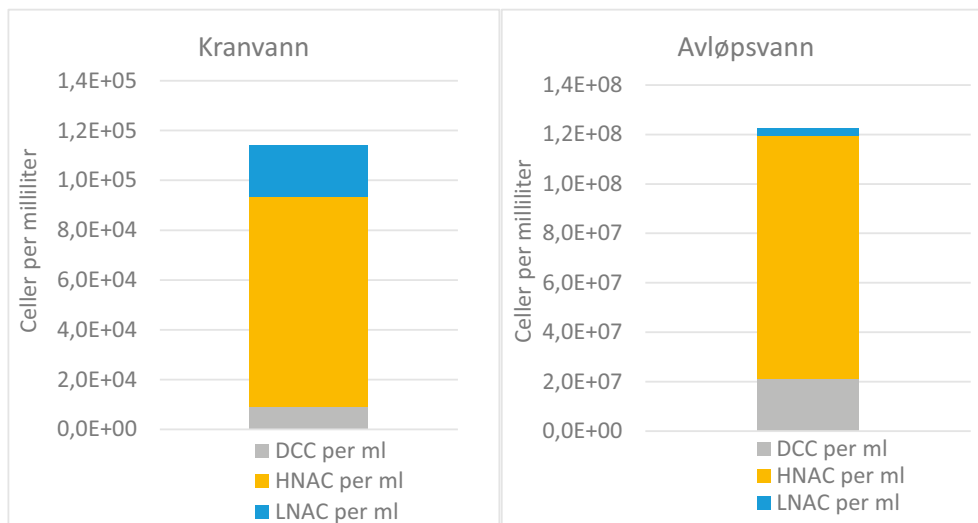
Fordelingen mellom intakte og ødelagte celler kan kanskje gi en god indikasjon på om forurensningen kommer fra avløp eller fra f.eks. ren avføring fra terreng som antakeligvis vil inneholde flere intakte celler dersom avføringen er fersk (må eventuelt undersøkes nærmere).



Figur 46: Prosent økning i celletall sammenlignet med kranvann samme dag.

En annen observasjon er LNAC som viser en reduksjon av LNAC i de største fortynningene. Skillet mellom HNAC og LNAC var ikke veldig tydelig i prøvene og det er svært stor usikkerhet i disse tallene. I tillegg er det relativt lave verdier av LNAC i utgangspunktet som gjør

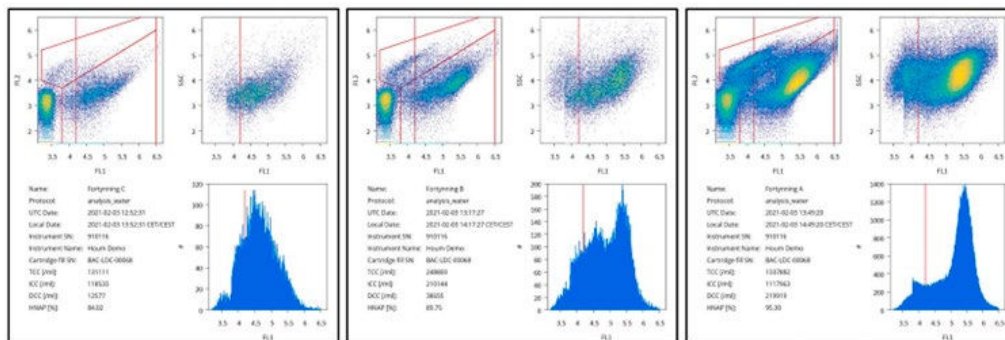
denne parameteren litt ustabil med hensyn til endringer i skyen (plottet). Dette skillet har mindre å si for HNAC, siden mesteparten av skyen ligger innenfor HNAC-området.



Figur 47: Sammensetning av kranvann (t.v.) og avløpsvann (t.h.). Konsentrasjon i avløpsvannet er beregnet fra en av fortynningene. Avløpsvannet inneholder mye høyere andel ødelagte celler enn kranvannet. Av de intakte cellene er nesten alle høynukleære.

I tillegg til den kvantifiserbare økningen i celletall ved økende mengde tilsatt avløpsvann er det en tydelig visuell endring i plottene (se figur 48). Skyen i både DCC og ICC-vinduet øker i intensitet og mesteparten av økningen skjer til høyre i diagrammene. Dette fører til en

intens topp rundt FL1 5,5. En forskyvning her indikerer bakterier med et høyere innhold av nukleinsyrer som kan bety større, mer komplekse eller mer aktive bakterier.



Figur 48: fcm-plott av fra venstre fortynning c (1:10 000, som er dominert av bakterier fra fortynningsvann/kranvann), i midten Fortynning b (1:1000) og til høyre fortynning a (1:100, dominert av bakterier fra avløpsvann).

Oppsummering

- Forholdet mellom Intestinale enterokokker, *E. coli*, koliforme og kimtall i avløpsvann var ca. 1:2:5:200.
- pH, farge og konduktivitet ga ikke utslag på fortynnet forurensning.
- ATP, turbiditet og fosfor ga utslag på 1:1 000 fortynning (B).
- UV-transmisjon ga utslag fra fortynning 1:10 000 (C), men er litt usikker.
- FCM ga utslag på fortynning 1:1000 (B).
- Man ser utslag på FCM fra de største fortynningene (et par prosent), men på grunn av den store naturlige variasjonen i drikkevann kan man ikke i en overvåkningssituasjon bekrefte utslag før et sted mellom 1:10 000 (C) og 1:1000 (B). Da inneholder vannet mellom 600 og 7 000 *E. coli* per 100 ml.
- Avløpsvann inneholder rundt $1,2 \times 10^8$ celler per milliliter (120 millioner).
- Kranvann inneholder rundt $1,2 \times 10^5$ celler per milliliter (120 tusen).
- Avløpsvann inneholder en høyere andel DCC og HNAC enn kranvann.

TABELL 5: RÅDATA FRA FORTYNNINGSFORSØK.

name	mrk	pH	Turbiditet	Farge	UV-trans	Tot-P	Konduktivitet	ATP	Int. entero.	Kimtall 22	E.coli	Koliforme
Metode	M								<1	1	<1	<1
Kranvann Kvernevik	K	7,9	0,15	6,3	88	<3	12,7	0,115	<1	<1	<1	<1
Fortynning E	E 1: 1 000 000	7,9	0,14	6,1	88,6	5,1	12,3	0,333	4	9	2	15
Fortynning D	D 1: 100 000	7,8	0,15	6,1	88	<3	12,2	0,256	33	41	64	123
Fortynning C	C 1: 10 000	7,9	0,14	6,0	84,9	4,4	12,2	0,425	190	570	613	1300
Fortynning B	B 1: 1 000	7,9	0,21	6,0	85,7	13	12,3	1,25	940	9600	7270	19860
Fortynning A	A 1: 100	7,9	0,74	6,4	74,8	84	12,9	14,9	>1000	49000	48800	141400

name	mrk	Klokkeslett FCM	ICC per ml	ICC per ml	DCC per ml	HNAC per ml	LNAC per ml	HNAP
Metode	M							
Kranvann Kvernevik	K	03.02.2021 12:34	114 333	105233	9100	84400	20833	80,20 %
Fortynning E	E 1: 1 000 000	03.02.2021 13:03	116 955	107477	9477	87222	20255	81,15 %
Fortynning D	D 1: 100 000	03.02.2021 13:28	120 800	110244	10555	90766	19477	82,33 %
Fortynning C	C 1: 10 000	03.02.2021 13:52	131 111	118533	12577	99588	18944	84,02 %
Fortynning B	B 1: 1 000	03.02.2021 14:17	248 800	210144	38655	188611	21533	89,75 %
Fortynning A	A 1: 100	03.02.2021 14:49	1 337 882	1117963	219919	1065470	52492	95,30 %

Tabell 3: Rådata fortynningsforsøk.

D. Sjekkliste før igangsetting av ny overvåkning av vannkvalitet

Overvåkning av vannkvalitet

Generell informasjon	
Navn på instrument/metode:	
Leverandør/produsent:	
Metoden	
Hva kan metoden brukes til? Konkretiser	
Hvilke begrensninger har den? – Hvilken informasjon gir metoden/instrumentet ikke?	
Hva og hvordan fungerer det?	
Hvorfor ønsker man å ta i bruk metoden/instrumentet? Hvilke problemer ønsker man å løse/oppdage?	
Online (måler kontinuerlig) eller manuell (stikkprøver)?	
Prosjekt (utprøving) eller implementering i driften?	
Er metoden utprøvd andre steder? Erfaringer?	
Prøver og resultater	
Hvor ofte skal det tas prøver? (Hvor ofte kan det tas prøver?)	
Hvor skal det tas prøver?	
Hvordan håndteres data?	
Hvordan kan man feiltolke data?	
Hvordan håndteres høye/avvikende verdier?	
Grensesnitt mot andre metoder – Brukes informasjonen alene eller i sammenheng med andre resultater?	

Drift og vedlikehold	
Praktiske begrensninger: - Hvor den kan plasseres? - Krav til strøm? - Fuktighet/temperatur - Størrelse/plasskrav	
Hvor ofte må det: - Føres tilsyn - Kalibreres - Bytte kjemikalier/deler	
Kompabilitet med SCADA-system?	
Miljø - Genereres det avfall? Hvordan håndteres det?	
Kostnader og ressurskrav	
Kostnader og ressurskrav: - Innkjøpskostnad - Reagenser/driftskostnader - Ekstrakostnader? - Kostnad per analyse - Forventet levetid	
Hvem skal følge opp prøvene?	
Hvor mye tid trengs til oppfølging? Behov for dedikert personell?	
Hvordan skal det finansieres?	
Bruksområde	
Eksempler på bruk andre steder/land	
Hva kan dette konkret benyttes til?	
Vurdering	
Hvilke suksesskriterier?	
Annet	
Annen relevant informasjon	

E. Skjemaer – detaljerte erfaringsrapporter

Colifast

1.1 Bærum kommune

Hva: Colifast ALARM på utløp av et bergsprengt drikkevannsmagasin. Daglig overvåkning av koliforme for å få tidlig varsel om potensiell forurensning.

Bakgrunnen for installasjonen var et pålegg fra Mattilsynet om overvåkning av vannkvaliteten ut fra et bergsprengt drikkevannsmagasin med innlekking. Instrumentet tar automatisk ut vannprøver hver dag som analyseres for koliforme bakterier. Det er etablert gode rutiner for eventuelle funn, bl.a. alarm til driftskontroll og prøver nedstrøms (6-14 timer oppholdstid). Det er ikke gjort noen reelle funn, men en falsk positiv prøve var nyttig for å teste beredskapsplanen.

Erfaring med overvåkning av vannkvalitet		
Kontaktinformasjon		
Aktør/kommune:	Bærum kommune, vann og avløp – drift og beredskap	
Kontaktperson:	Lisbeth Sloth	
E-post/telefon:	Lisbeth.sloth@baerum.kommune.no	909 31 484
Generell informasjon		
Navn på instrument/metode:	Colifast ALARM (At-Line Automated Remote Monitor) er et automatisert system for påvisning av koliforme bakterier eller <i>E.coli</i> i vannprøver (100 ml)	
Leverandør/produsent:	Colifast AS https://www.colifast.no/nb/hjem/	
Hva og hvordan fungerer det?	Instrumentet tar automatisk en vannprøve per dag. Vakta på driftssentralen og på ABV mottar alarm ved positivt utslag eller ved feil på apparatet. Instrumentet detekterer ned til 1cfu per 100 ml, og resultater foreligger i løpet av 6-14 timer. De bakterielle deteksjonsresultatene er basert på målte konsentrasjoner av det fluorescerende produktet (ppb MU). En økning i antall bakterier betyr en økning i mengden av et enzym. Dette fører til en økning i produksjonen av MU (det fluorescerende produktet) som gir et høyere fluorescenssignal på Colifast ALARM. Apparatet tar ut en prøve til samme tid hver dag. Prøven inkuberes i 14 timer. Apparatet kjører en vaskesyklus i 1 time og 5 min etter oppstart, før første prøve tas, dvs. at prøven er ferdig avlest ca. 15 timer etter oppstart. Etter det vil det være ca. 1,5 timer med vasking før den går i pausemodus til neste prøve (..delay next sample..). Apparatet tar ut ekstra prøve samtidig som prøven settes til dyrking i apparatet, 200 ml. (referanseprøve. Testes på lab. - samme vann som ga utslag i instrumentet). Apparatet er koblet til UPS.	

<i>Bakgrunn</i> <i>Hvorfor ble metoden/instrumentet tatt i bruk?</i> <i>Hvilke problemer ønsker man å løse/oppdage?</i>	Pålegg fra Mattilsynet om overvåkning av vannkvaliteten i en fjellsprengt tunnel med innlekking. Formålet med Colifast ALARM er å foreta en daglig overvåking av den mikrobiologiske vannkvaliteten (måler på koliforme) i et høydebasseng og få et tidlig varsel av en evt. forurensing/forandring.
<i>Online (måler kontinuerlig) eller manuell (stikkprøver)?</i>	Den er koblet opp med en bypass og det tas ut vannprøve hver dag automatisk.
<i>Hvor lenge har dere brukt metoden?</i>	Siden januar 2018.
<i>Stadium: Utprøvningsfase eller inkludert i den daglige driften?</i>	I daglig drift.
Metoden	
<i>Hva kan metoden brukes til?</i> - Konkretiser	Colifast kan påvise koliforme eller <i>E. coli</i>. Fungerer greit som tillegg i et overvåkingsprogram for høydebasseng som ikke blir besøkt daglig/ukentlig. Vi måler på koliforme for å få et tidlig varsel om noe har forandret seg. Vi får tid til å vurdere om det er driftshendelser /ytte påvirkninger (nedbør) som kan ha påvirket vannkvaliteten og evt. ta oppfølgingsprøver innen vi evt. går ut med kokevarsel.
<i>Hvilke begrensninger har den?</i> - Hvilken informasjon gir metoden/instrumentet ikke?	Colifast'en kan påvise enten koliforme bakterier eller <i>E.coli</i>, da det skal brukes ulike medier og temperaturer i dyrkningsfasen.
Prøver og resultater	
<i>Hvor ofte tas det prøver?</i> <i>(Hvor ofte kan det tas prøver?)</i>	Daglig.
<i>Hvor tas det prøver?</i>	Apparat er satt opp ved utløpet fra høydebassenget.
<i>Hvordan håndteres data?</i>	I apparatet som gir alarm hvis positiv prøve eller feilmelding. Sendes til driftskontrollen. Ved alarm må man reise ut å sjekke apparatet og se om det er et reelt utslag på koliforme bakterier. Sees på en graf på apparatet.
<i>Hvordan kan man feiltolke data?</i>	Sikkert, men ganske greit å tolke.
<i>Hvordan håndteres høye/avvikende verdier?</i>	Hvis alarmen er reell må referanseprøven hentes innen <u>24t fra prøvestart</u> og analyseres på laboratoriet. Det tas samtidig 5 parallelle prøver fra vanlig prøvekran ved utløp for analyse av <i>E. coli</i>, koliforme bakterier, kimtall 22°, Intestinale enterokokker og <i>Clostridium perfringens</i>. Samt flere ekstra prøver fra faste steder ute på ledningsnettet. Disse er kartlagt utfra antall timer fra høydebassenget (6-14 timer) for å prøve å «fange» vannet som var i bassenget da vannprøven ble tatt. Varsle overord.vakt/Driftssentralen og fagansvarlig for drikkevann (BK vann og avløp). Ved reelt funn startes nødkloranlegget ved bassenget.

<i>Grensesnitt mot andre metoder</i> - <i>Brukes informasjonen alene eller i sammenheng med andre resultater?</i>	Ved positivt utslag skal det alltid tas kontrollprøver på vanlig måte etter fastlagt plan. Vurder nedbør og andre hendelser i bassenget eller på ledningsnett. (etter sjekkliste).
<i>Hvilken rolle har de som følger opp prøvene?</i>	Driftsoperatører/vakt på vannverket og overordnet vakt på driftssentralen i kommunen samt fagansvarlig for drikkevannskvaliteten.
Drift og vedlikehold	
<i>Praktiske begrensninger:</i> - <i>Hvor den kan plasseres?</i> - <i>Krav til strøm?</i> - <i>Fuktighet/temperatur</i> - <i>Størrelse/plasskrav</i>	Bør stå innomhus. Krever strøm og nett-tilkobling Kobles på vannledning med flow regulator for on-line testing. 645 X 420 X 360 mm (H X W X D). Dry weight: 31 kg.
<i>Hvor ofte må det:</i> - <i>Føres tilsyn</i> - <i>Kalibreres</i> - <i>Bytte kjemikalier/deler</i>	Kjører 14 dager uten tilsyn. Påfyll av kjemikalier/vekstmedium, noe slange rens, tømme avfallsdunk. Årlig service fra leverandør som tar ca. 4 timer.
<i>Kompabilitet med SCADA-system?</i>	ja
Kostnader og ressurskrav	
<i>Kostnader og ressurskrav:</i> - <i>Innkjøpskostnad</i> - <i>Reagenser/drifstkostnader</i> - <i>Ekstrakostnader?</i> - <i>Kostnad per analyse</i> - <i>Forventet levetid</i>	Komplett instrument (anskaffelse) kr.205.000,- (eks mva). Årlig service kr. 12.500,- (inkl mva). Vekstmedium ca. kr. 60.000,- pr.år (inkl mva). ⇒ Ca. Kr.165,- pr. analyse + anskaffelsen. Levetid? – lenge!
<i>Hvor mye tid trengs til oppfølging?</i> <i>Behov for dedikert personell?</i>	For å drifte instrumentene kreves verken laboratoriefasiliteter eller kompetanse innen mikrobiologi. God hjelp fra Colifast.
<i>Miljø</i> - <i>Genereres det avfall?</i> - <i>Hvordan håndteres det?</i>	Avfallsvann tømmes i vasken/sluk 1x mnd. (5-10L)
Bruksområde	
<i>Eksempler på bruk andre steder/land</i>	Vi har også en Colifast ALARM på råvannsintaket på Toverud/Holsfjorden, som måler på <i>E.coli</i> Jeg tror at flere kommuner har det (Oslo, Bergen?)
<i>Hva kan dette konkret benyttes til?</i>	

Vurdering	
Hvor fornøyd er dere med metoden?	Vi mener det gir oss en tilleggsinformasjon om vannkvaliteten. Vi måler oftere enn vi ellers ville ha gjort. Allikevel, det måles bare på 100ml pr. prøve x 365 dager => 36L drikkevann/år som blir analysert og det går ca. 6,6 mill. m³ gjennom bassenget. Vi har ikke hatt noen positive prøver så langt, men ved den ene falske alarmen, fikk vi testet ut beredskapsplanen for oppfølging av positiv prøve.
Hva har dere funnet ut av? Eksempel på noe man ikke visste fra før?	
Vil du anbefale metoden for andre? - Hvem?	Ja, for måling på høydebasseng.
Annet	
Annen relevant informasjon	https://www.colifast.no/nb/produkter-2/colifastalarm-2/ Innsatsplan V20 og driftsprosedyre 6.07

Oppsummering av fordeler og ulemper:

Fordeler	Ulemper
Daglige prøver uten oppmøte i 2 uker. Personellbesparende. Reduserer tiden fra prøvetaking til resultat til 6-14t i stedet for 1-2 dager. Vinner mye tid hvis positiv prøve. Kan få satt i verk tiltak mye tidligere enn ved vanlig prøvetaking hver 14. dag. Lite vedlikehold. Lite feilmeldinger. Hatt falsk alarm en gang på 4 år pga. feil på utstyret. Fungerer greit som tillegg i et overvåkingsprogram for høydebasseng som ikke blir besøkt daglig/ukentlig. Vi måler på koliforme for å få et tidlig varsel om noe har forandret seg. Vi får tid til å vurdere om det er driftshendelser / ytre påvirkninger (nedbør) som kan ha påvirket vannkvaliteten og evt. ta oppfølgingsprøver innen vi evt. går ut med kokevarsel.	Colifast'en kan påvise enten koliforme eller <i>E. coli</i>, da det skal brukes ulike medier og temperaturer i dyrkningsfasen. Parametrene kan ikke analyseres samtidig. Dyrt instrument for utplassering flere steder på ledningsnett. Måler på liten vannmengde pr. dag (100ml).

1.2 Oslo kommune

Hva: Colifast ALARM på utløp av et bergsprengt drikkevannsmagasin.

Bakgrunnen for installasjonen var dårlig rehabilitert avløpssystem i overkant av et bergsprengt overføringsmagasin med fare for innlekking. I forbindelse med rehabilitering og store arbeider over tunnelen var det ønskelig å overvåke vannkvaliteten etter tunnelen. Det blir automatisk tatt ut en prøve hver 24. time for analyse av *E. coli*. Metoden har vært brukt i 7 år og det er aldri gjort funn av *E. coli*, noe som samsvarer med rutineprøver fra samme punkt. Kommunen er fornøyd med metoden som verifikasjon på at en lokasjon med høy risiko ikke forårsaker forurensning.

NB: instrumentet er plassert etter punktdosering av klor som fungerer effektivt mot *E. coli*.

Erfaring med overvåkning av vannkvalitet		
Kontaktinformasjon		
Aktør/kommune:	Vann- og avløpsetaten, Oslo kommune	
Kontaktperson:	Ane Hansen Kjenseth	
E-post/telefon:	ane.kjenseth@vav.oslo.kommune.no	97756782
Generell informasjon		
Navn på instrument/metode:	Colifast ALARM	
Leverandør/produsent:	Colifast AS	
Hva og hvordan fungerer det?	Påvisning av <i>E. coli</i> i drikkevann. Vannprøver på 100 ml samles automatisk hvert døgn. Resultater sendes via fjernkontrollsystem og videre til Gurusoft. Systemet kan oppdage ned til 1 cfu/100 ml, og resultatene oppnås innen 6-15 timer.	
Bakgrunn Hvorfor ble metoden/instrumentet tatt i bruk? Hvilke problemer ønsker man å løse/oppdage?	Oppført i endepunkt av råsprengt overføringstunnel. Dårlig rehabilitert avløpssystem i overkant av tunnelen med fare for innlekking. I forbindelse med rehabilitering og store arbeider over tunnelen ønsket vi å overvåke kvaliteten etter tunnelen.	
Online (måler kontinuerlig) eller manuell (stikkprøver)?	Stikkprøve på 100 ml tas ut med 24-timers intervall.	
Hvor lenge har dere brukt metoden?	Siden ca. 2015.	
Stadium: Utprøvningsfase eller inkludert i den daglige driften?	Supplement til daglig drift. Det tas ukentlig rutineprøve fra samme punkt.	
Metoden		
Hva kan metoden brukes til? - Konkretiser	Påvise sannsynlighet for fekal forurensning. Instrumentet er plassert etter punktdosering av klor. Den tar prøver som er representative for det vannet som leveres på nettet og til abonnentene.	
Hvilke begrensninger har den? - Hvilken informasjon gir metoden/instrumentet ikke?	Gir ikke informasjon om nivå, kun påvist eller ikke.	

Prøver og resultater	
Parameter (hva måler den)?	<i>E. coli</i>
Deteksjonsgrense Hva er laveste og høyeste konsentrasjon instrumentet kan måle?	1 cfu/100mL
Hvor ofte tas det prøver? (Hvor ofte kan det tas prøver?)	Stikkprøve på 100 ml tas ut med 24-timers intervall. Med en analysetid på inntil 15 timer kan det ikke tas prøver oftere.
Hvor tas det prøver?	På VP i endepunkt av råsprenget overføringstunnel.
Hva er vanlige målte verdier? Størrelsesorden/ variasjon	Null. Aldri påvist.
Hvordan håndteres data?	Overføring via fjernkontroll og videre til Gurusoft.
Hvordan kan man feiltolke data?	
Hvordan håndteres høye/avvikende verdier?	Iverksetter beredskap på lik linje som funn i rutineprøver. Omprøve fra punktet og utsjekk av mulige, samsvarende hendelser.
Grensesnitt mot andre metoder - Brukes informasjonen alene eller i sammenheng med andre resultater?	Sammenlignes med ordinær, manuell, ukentlig rutineprøvetaking fra samme punkt.
Hvilken rolle har de som følger opp prøvene?	Overingeniører med ansvar for drikkevannskvalitet.
Drift og vedlikehold	
Praktiske begrensninger: - Hvor den kan plasseres? - Krav til strøm? - Fuktighet/temperatur - Størrelse/plasskrav	Krever tilgang på strøm. Lite plasskrevende, men må kunne kobles direkte til vannstrømmen. Vi har vår plassert på fuktfri VP.
Hvor ofte må det: - Føres tilsyn - Kalibreres - Bytte kjemikalier/deler	Årlig service, inkludert kalibrering, gjennomføres av Colifast. Kjemikalier byttes hver 21. dag.
Kompatibilitet med SCADA-system?	Ja. Direkte overføring av data og alarmer.
Kostnader og ressurskrav	
Kostnader og ressurskrav: - Innkjøpskostnad - Reagenser/drifstkostnader - Ekstrakostnader? - Kostnad per analyse - Forventet levetid	Usikker.
Hvor mye tid trengs til oppfølging? Behov for dedikert personell?	Lite tid kreves til oppfølging. Dedikert personell er en fordel pga. resultatoppfølging. Ved alarmer benyttes egen beredskapsprosedyre. Alarmer går direkte til vakttelefon.

<i>Miljø</i> - Genereres det avfall? - Hvordan håndteres det?	Lite avfall. Ordinært restavfall.
Bruksområde	
<i>Eksempler på bruk andre steder/land</i>	
<i>Hva kan dette konkret benyttes til?</i>	
Vurdering	
<i>Hvor fornøyd er dere med metoden?</i>	Fornøyd.
<i>Hva har dere funnet ut av?</i> <i>Eksempel på noe man ikke visste fra før?</i>	Vi har aldri fått funn av <i>E. coli</i> på Colifast Alarm. Dette samsvarer med rutineprøver fra samme punkt.
<i>Vil du anbefale metoden for andre?</i> - Hvem?	Ja, men det er viktig å tenke nøye gjennom bruksområde.
Annet	
<i>Annen relevant informasjon</i>	

1.3 IVAR IKS

Hva: Colifast ALARM på distribusjonsnettet.

Erfaring med overvåkning av vannkvalitet		
Kontaktinformasjon		
Aktør/kommune:	IVAR IKS	
Kontaktperson:	Unni Synnøve Lea	
E-post/telefon:	Unnis.lea@ivar.no	47509526
Generell informasjon		
Navn på instrument/metode:	Colifast ALARM	
Leverandør/produzent:	Colifast AS	
Hva og hvordan fungerer det?	Roboten er produsert av Colifast AS og er av typebetegnelse ALARM. Instrumentet kan settes opp med analyser for termotolerante koliforme bakterier, <i>E. coli</i> og total koliforme bakterier, hvor IVAR har valgt analyse av termotolerante koliforme bakterier. En gang per døgn hentes det ut en stikkprøve fra ledningsnettet som inkuberes over 18 timer i et vekstmedium spesifikt for termotolerante koliforme bakterier. Underveis i inkubasjonstiden vil fluorescens avleses og prøven rapporteres som positiv for koliforme om fluorescensen blir høy i forhold til nullprøve. Instrumentet vil gi et tidlig varsel dersom vannprøven inneholder forhøyede nivåer av koliforme bakterier.	
Bakgrunn Hvorfor ble metoden/instrumentet tatt i bruk? Hvilke problemer ønsker man å løse/oppdage?	Vannet som overvåkes leveres til et område med flere næringsmiddelbedrifter og vi ønsker å ha en ekstra kontroll på kvaliteten som brukes i matvareproduksjon.	
Online (måler kontinuerlig) eller manuell (stikkprøver)?	Stikkprøve en gang per døgn.	
Hvor lenge har dere brukt metoden?	Siden ca. 2012.	
Stadium: Utprøvningsfase eller inkludert i den daglige driften?	En del av den daglige driften.	
Metoden		
Hva kan metoden brukes til? - Konkretiser	Ved gjentatte problem med koliforme bakterier kan Colifast ALARM benyttes i overvåkingen av problemområde.	
Hvilke begrensninger har den? - Hvilken informasjon gir metoden/instrumentet ikke?	Resultatene er ikke akkrediterte.	
Prøver og resultater		
Parameter (hva måler den)?	Instrumentet har mulighet for analyser av termotolerante koliforme bakterier, <i>E. coli</i> og total koliforme bakterier.	
Deteksjonsgrense Hva er laveste og høyeste konsentrasjon instrumentet kan måle?	1 cfu/100 ml er laveste.	

Hvor ofte tas det prøver? (Hvor ofte kan det tas prøver?)	En gang per døgn.
Hvor tas det prøver?	Distribusjonsnettet.
Hva er vanlige målte verdier? Størrelsesorden/ variasjon	Vanligvis påvises det ikke termotolerante koliforme bakterier.
Hvordan håndteres data?	Data håndteres av driftsteknikere.
Hvordan kan man feiltolke data?	Positivt resultat viser tilstedeværelse av termotolerante bakterier. Ved tilstedeværelse må det rettes tiltak.
Hvordan håndteres høye/avvikende verdier?	Instrumentet tar ut to prøver ved hver prøvetaking; en prøve som analyseres og en som lagres. Dersom den analyserte prøven er positiv, vil første tiltak være å ta med den parallelle prøven til laboratorium for analyse.
Grensesnitt mot andre metoder - Brukes informasjonen alene eller i sammenheng med andre resultater?	Informasjonen kan brukes alene, men kan sammenholdes med turbiditetsverdier. Det er en integrert turbiditetsmåler i instrumentet. Det er en enkel punktmåling sammen med hver nye bakterieanalyse. Ikke veldig nøyaktig, men gir oversikt over nivå (ca +/- 0,7 NTU). IVAR har valgt å sette opp en turbiditetsmåler i tillegg som viser lavere turbiditetsverdier.
Hvilken rolle har de som følger opp prøvene?	Driftsteknikere og driftsingeniør.
Drift og vedlikehold	
Praktiske begrensninger: - Hvor den kan plasseres? - Krav til strøm? - Fuktighet/temperatur - Størrelse/plasskrav	Instrumentet må stå i hus og med tilgang til en delstrøm av vannet. Instrumentet bruker 220V. Oppbevares frostfritt. Instrument med medier bør ha ca. 80 cm bredde og 60 cm høyde og 40 cm dybde.
Hvor ofte må det: - Føres tilsyn - Kalibreres - Bytte kjemikalier/deler	Instrumentet har tilsyn ca. hver 3 uke. Det byttes da vekstmedium. Kalibrering utføres ikke, men vi har årlig service på instrumentet. Årlig Service utføres av representanter fra Colifast AS.
Kompabilitet med SCADA-system?	Den kan kobles til PLS/Scada, nettverk/LAN for fjernstyring fra en annen PC og GSM/SMS for meldinger til telefon. Så man kan f. eks programmere den slik at den sender SMS med status og eventuelle alarmer til operatører og kontrollrom (krever et aktivt SIM kort).
Kostnader og ressurskrav	
Kostnader og ressurskrav: - Innkjøpskostnad - Reagenser/driftskostnader - Ekstrakostnader? - Kostnad per analyse - Forventet levetid	Innkjøpskostnad – ca. 215 000 kr. Årlig service – ca. 25 000 kroner. Vekstreagens – ca. 110 kr per analyse. Forventet levetid – ca. 10 år eller mer.
Hvor mye tid trengs til oppfølging? Behov for dedikert personell?	Ca. 1 time ved hvert vedlikeholds-besøk (hver 3. uke).

Miljø - Genereres det avfall? - Hvordan håndteres det?	Dyrking av bakterier genererer en medierest. Det brukte mediet samles opp i dunk og kastes i avløp.
Bruksområde	
<i>Eksempler på bruk andre steder/land</i>	
<i>Hva kan dette konkret benyttes til?</i>	IVAR benytter det til en ekstra overvåking av vannkvaliteten inn til et område med flere næringsmiddelbedrifter. IVAR har i perioder benyttet instrumentet til overvåking av råvannskvalitet.
Vurdering	
<i>Hvor fornøyd er dere med metoden?</i>	Ja
<i>Hva har dere funnet ut av?</i> <i>Eksempel på noe man ikke visste fra før?</i>	Vi har ikke påvist termotolerante bakterier i vannet. Resultatene bekrefter de data vi har av rentvannet fra VBA.
<i>Vil du anbefale metoden for andre?</i> - Hvem?	Ja, det gir en ekstra sikkerhet i forhold til leveranse av vann til et kritisk område.
Annet	
<i>Annen relevant informasjon</i>	https://www.colifast.no/nb/produkter-2/colifastalarm-2-online-bakteriemonitor/

1.4 Trondheim kommune

Hva: Colifast ALARM på ulike punkter i vannforsyningssystemet.

Erfaring med overvåkning av vannkvalitet		
Kontaktinformasjon		
Aktør/kommune:	Trondheim kommune	
Kontaktperson:	Karen Hernes Buan	
E-post/telefon:	urf@trondheim.kommune.no	97599622
Generell informasjon		
Navn på instrument/metode:	Colifast ALARM	
Leverandør/produzent:	Colifast AS	
Hva og hvordan fungerer det?	Colifast ALARM tar ut en prøve i døgnet som analyseres for <i>E. coli</i> .	
Bakgrunn Hvorfor ble metoden/instrumentet tatt i bruk? Hvilke problemer ønsker man å løse/oppdage?	Det første instrumentet ble kjøpt inn for online overvåkning av råvannskilden. Senere er det montert opp 1 instrument på reservevannkilden, både på råvann på sil-anlegget og på rentvann på vannbehandlingsanlegget. Har også satt opp et instrument som overvåker innlekksvann i det ene råsprengte fjellbassenget vi har.	
Online (måler kontinuerlig) eller manuell (stikkprøver)?	Online	
Hvor lenge har dere brukt metoden?	Kjøpte det første instrumentet i 2013.	
Stadium: Utprøvningsfase eller inkludert i den daglige driften?	Inkludert i den daglige driften.	
Metoden		
Hva kan metoden brukes til? - Konkretiser	Tar prøve 1 gang i døgnet, vi bruker den til å ta prøve av <i>E. coli</i> . Instrumentet måler også turbiditet.	
Hvilke begrensninger har den? - Hvilken informasjon gir metoden/instrumentet ikke?		
Prøver og resultater		
Parameter (hva måler den)?	<i>E. coli</i> og turbiditet.	
Deteksjonsgrense Hva er laveste og høyeste konsentrasjon instrumentet kan måle?	1 cfu/100 ml.	
Hvor ofte tas det prøver? (Hvor ofte kan det tas prøver?)	En gang i døgnet.	
Hvor tas det prøver?	Vi har 4 målere; 2 på råvann, 1 på rentvann på vannbehandlingsanlegget på Benna og 1 på innlekksvann på Høgåsen HB.	

Hva er vanlige målte verdier? Størrelsesorden/variasjon	Ikke påvist.
Hvordan håndteres data?	
Hvordan kan man feiltolke data?	
Hvordan håndteres høye/avvikende verdier?	Det tas en parallell prøve som blir tatt med til laboratoriet hvis det påvises på Colifast.
Grensesnitt mot andre metoder - Brukes informasjonen alene eller i sammenheng med andre resultater?	Brukes i sammenheng med andre prøver som f. eks tilløpsbekker til vannkilden. Ser også mot temperatur og turbiditetsendringer.
Hvilken rolle har de som følger opp prøvene?	Ingeniør og driftsoperatører.
Drift og vedlikehold	
Praktiske begrensninger: - Hvor den kan plasseres? - Krav til strøm? - Fuktighet/temperatur - Størrelse/plasskrav	Må ha strøm. Kabinettet er i underkant av 1 meter høyt, ca. 50 cm bredt. Må ha plass til kanne med syre ved siden av. Kan henges opp på stativ eller stå på bord/hylle. Kan stå noe kjølig og fuktig. (fjellbasseng).
Hvor ofte må det: - Føres tilsyn - Kalibreres - Bytte kjemikalier/deler	Byttes medie hver 21 dag. Service 1 gang i året.
Kompatibilitet med SCADA-system?	Ja
Kostnader og ressurskrav	
Kostnader og ressurskrav: - Innkjøpskostnad - Reagenser/driftskostnader - Ekstrakostnader? - Kostnad per analyse - Forventet levetid	Innkjøpskostnader er jeg usikker på, det er flere år siden de ble kjøpt inn. Reagenser: ca. 2000 pr medieflaske, den holder til 21 prøver. Servicekostnader: Servicekit ca. 6100 kr.
Hvor mye tid trengs til oppfølging? Behov for dedikert personell?	Ikke veldig mye utenom bytte og tilsyn hver 21. dag. Service 1 gang i året.
Miljø - Genereres det avfall? - Hvordan håndteres det?	Medieflaske i plast. Avløp går til sluk.
Bruksområde	
Eksempler på bruk andre steder/land	
Hva kan dette konkret benyttes til?	

Vurdering	
Hvor fornøyd er dere med metoden?	Er veldig fornøyd. Instrumentet er stabilt og trenger lite vedlikehold.
Hva har dere funnet ut av? Eksempel på noe man ikke visste fra før?	
Vil du anbefale metoden for andre? - Hvem?	Andre vannverk.
Annet	
Annen relevant informasjon	

1.5 Bergen kommune

Hva: Colifast ALARM på 2 punkter på ledningsnett.

Erfaring med overvåkning av vannkvalitet		
Kontaktinformasjon		
Aktør/kommune:	Bergen kommune	
Kontaktperson:	Hege Hovland	
E-post/telefon:	Hege.hovland@bergen.kommune.no	
Generell informasjon		
Navn på instrument/metode:	Colifast ALARM	
Leverandør/produsent:	COLIFAST AS	
Hva og hvordan fungerer det?	Bruker spesifikt vekstmedium som inneholder substrat som spaltes av enzym og fluorescerer hvis det er <i>E. coli</i> til stede i vannet.	
Bakgrunn Hvorfor ble metoden/instrumentet tatt i bruk? Hvilke problemer ønsker man å løse/oppdage?	Instrumentet ble tatt i bruk da vi hadde flere hendelser i samme område med fekal forurensing av drikkevannet. For å kunne overvåke vannkvaliteten hver dag uten å måtte dra ut og ta vannprøver fysisk, ble det satt opp to Colifast-instrumenter ved to punkter på ledningsnett hvor vi hadde hatt funn av fekale indikatororganismer under hendelsene.	
Online (måler kontinuerlig) eller manuell (stikkprøver)?	Instrumentet tar én vannprøve hvert døgn som den inkuberer sammen med det spesifikke vekstmediet. Samtidig blir det tatt en ekstern vannprøve som kan hentes og analyseres på lab hvis vi får en prøve som er positiv for <i>E. coli</i> .	
Hvor lenge har dere brukt metoden?	Siden høsten 2022.	
Stadium: Utprøvningsfase eller inkludert i den daglige driften?	Den er en del av den daglige driften ved at vi overvåker resultatene den gir, men vi er samtidig fortsatt i en utprøvningsfase hvor vi lærer hvordan vi kan drifte instrumentet på en god og fornuftig måte.	
Metoden		
Hva kan metoden brukes til? - Konkretiser	Instrumentet kan brukes til å oppdage forurensing av <i>E. coli</i> i drikkevannet. Ved å bruke instrumentet blir det tatt mye hyppigere prøver enn det ellers ville bli tatt (én gang i døgnet vs. én gang i uken). Fluorescensen måles kontinuerlig under inkuberingen, slik at man kan få varsel med én gang verdien overstiger grenseverdien.	
Hvilke begrensninger har den? - Hvilken informasjon gir metoden/instrumentet ikke?	Den kan kun analysere for <i>E. coli</i> , og ikke andre fekale indikatorbakterier som intestinale enterokokker. Man kan velge mellom to ulike vekstmedier: Vekstmedium for <i>E. coli</i> og vekstmedium for termotolerante koliforme. Man kan ikke analysere for begge deler samtidig, så man må velge hva man vil analysere for når man kjøper vekstmedium.	

Prøver og resultater	
Parameter (hva måler den)?	Tilstedeværelse av <i>E. coli</i> i vannet.
Deteksjonsgrense Hva er laveste og høyeste konsentrasjon instrumentet kan måle?	Laveste verdi er <1/100 ml. Metoden angir ikke konsentrasjon, kun presence/absence.
Hvor ofte tas det prøver? (Hvor ofte kan det tas prøver?)	Det tas prøver én gang i døgnet. Dette er også det mest hensiktsmessige. Den inkuberer prøven i 15 timer, men starter ikke ny kjøring før det er gått 24 timer. Dette er fordi man skal få tid til å hente den eksterne prøven hvis det har vært et positivt utslag på <i>E. coli</i> .
Hvor tas det prøver?	Hos oss tas det prøver ut fra et høydebasseng og ved en pumpestasjon.
Hva er vanlige målte verdier? Størrelsesorden/variasjon	Det vanlige er 0 <i>E. coli</i> . Vi har ennå ikke fått utslag på <i>E. coli</i> etter at instrumentene ble tatt i bruk.
Hvordan håndteres data?	Data lagres på instrumentet i form av en PDF-fil, men disse dataene er ikke interessante med mindre det er et positivt funn.
Hvordan kan man feiltolke data?	Vanskelig å feiltolke data. Instrumentet har en skjerm med en graf hvor hver prøve vises som en trekant. Området for positiv prøve er markert i rødt. Hvis prikken kommer opp i dette området, har man økt fluorescens som tilsier tilstedeværelse av <i>E. coli</i> i drikkevannet.
Hvordan håndteres høye/avvikende verdier?	Vi får beskjed i SCADA-systemet om det er avvikende verdier. Dette har ikke skjedd ennå, men det man må gjøre er å dra ut og hente den eksterne prøven slik at den kan analyseres ved en lab. Deretter må instrumentet gjennomgå en renseprosess.
Grensesnitt mot andre metoder - Brukes informasjonen alene eller i sammenheng med andre resultater?	Det ene instrumentet er plassert sammen med en Bactosense som er et flow-cytometer. Hvis vi får positivt utslag på Colifast kan vi se det i sammenheng med endring i bakterietall eller fingerprint på Bactosensen.
Hvilken rolle har de som følger opp prøvene?	Ingeniørstøtte, vannkvalitet.
Drift og vedlikehold	
Praktiske begrensninger: - Hvor den kan plasseres? - Krav til strøm? - Fuktighet/temperatur - Størrelse/plasskrav	- Den må plasseres innendørs. Vekstmediet tåler ikke kulde, så det bør helst være stabil temperatur for lagring av vekstmediet. - Den krever strøm, men vi har en UPS slik at den ikke slår seg av ved korte strømbrudd. - Selve instrumentet tåler ikke så mye fuktighet. Bør stå i romtemperatur. - Krever et bord den kan stå på. I tillegg til instrumentet er det en del kanner og flasker som står ved siden av og tar opp plass. Høyden på selve instrumentet er 64,5 cm. Leverandøren anbefaler et bord på minimum 70 x 40 cm (W x D).

<i>Hvor ofte må det:</i> - Føres tilsyn - Kalibreres - Bytte kjemikalier/deler	- De anbefaler en service en gang i året. Dette vil gjennomføres av Colifast. Med mindre man har en feilmelding, trenger man ikke føre tilsyn før man skal bytte vekstmedium. - Man må sørge for at vannstrømmen er passelig slik at det kommer vann inn i instrumentet og at det ikke renner over. - Det må byttes kjemikalier hver 3. uke. Hver 6. uke må det fylles på med ny renseløsning (10 L 0,1 M HCl. Krever MilliQ-vann til fortynning), i tillegg må man tømme avfallsdunken ved behov (25 L).
Kompabilitet med SCADA-system?	Ja, den er koblet opp mot SCADA-systemet hvor den gir tre signaler: Alarm Bacto, Alarm turbiditet og Instrumentfeil.
Kostnader og ressurskrav	
<i>Kostnader og ressurskrav:</i> - Innkjøpskostnad - Reagenser/driftskostnader - Ekstrakostnader? - Kostnad per analyse - Forventet levetid	- Ca. 200 000 kr per instrument. - Vekstmedium: Ca 2 000 kr per stk. Vi kjøper 16 om gangen, 8 til hvert instrument. En flaske holder til 21 analyser. - Tilleggsutstyr: Sample cooler, UPS, Saltsyreløsning ca. 2 000 kr. - Kostnad blir ca. 100 kr per analyse (?). - Usikker på forventet levetid. De har ikke hatt instrumenter i drift lenge nok.
<i>Hvor mye tid trengs til oppfølging?</i> <i>Behov for dedikert personell?</i>	- 1 time for begge instrumentene hver 3. uke, pluss sjekke SCADA-systemet daglig til oppfølging hvis det ikke er noen feilmeldinger på instrumentet. Kan være tidkrevende hvis man har problemer eller feilmeldinger med instrumentene. - Det er absolutt behov for dedikert personell. Også fordi det er viktig med en god rutine for håndtering av instrumentet slik at man ikke forurenses prøvene.
<i>Miljø</i> - Genereres det avfall? - Hvordan håndteres det?	Det genereres avfall bestående av vann, HCl (svært uttynnet) og vekstmedium. Dette håndteres ved å tømme det i avløp. Er ikke spesialavfall.
Bruksområde	
Eksempler på bruk andre steder/land	Brukes i flere kommuner i Norge, i tillegg til Brasil.
Hva kan dette konkret benyttes til?	Overvåking av fekal forurensing i drikkevannet.
Vurdering	
Hvor fornøyd er dere med metoden?	Det har vært en del startproblemer med at enkelte komponenter ikke har fungert. I tillegg har vi opplevd forurensing av selve vekstmediet. Veldig fornøyd med kundeoppfølgingen og servicen fra Colifast. Det er en fordel at de produserer instrumentet selv, slik at de lett kan vurdere hva som er galt hvis man har problemer. I tillegg er selve prosessen og alle delene i instrumentet mulig å skifte ut, og man kan selv gjøre en del feilsøking og reparasjoner hvis det er noe galt.
<i>Hva har dere funnet ut av?</i> <i>Eksempel på noe man ikke visste fra før?</i>	Har ikke vært noen funn ennå.
<i>Vil du anbefale metoden for andre?</i> - Hvem?	Kan anbefale det til kommuner som har ressurser til å følge opp instrumentet.

Annet	
Annen relevant informasjon	

Oppsummering av fordeler og ulemper:

Fordeler	Ulemper
- Tar en prøve hvert døgn. - Kontinuerlig måling av fluorescens under inkubering, slik at man får varsel når den overstiger grenseverdien. - Slipper å ta vannprøver manuelt. - Tar en ekstern prøve slik at man kan sende den til analyse ved en lab hvis det er funn. - Får varsel i SCADA-systemet hvis funn. - Brukervennlig.	- Kan ikke analysere for flere ulike indikatororganismer samtidig. - Kan ikke analysere for f. eks intestinale enterokokker eller <i>C. perfringens</i>. - Må stå innendørs. - Har vært en del oppstartsproblemer. - Kan være tidkrevende hvis det er problemer med instrumentet. - Vekstmediet kan kontamineres hvis man er uforsiktig/uheldig.

Flowcytometer

2.1 Bergen kommune

Hva:

Omfattende kartlegging av rentvann og ulike punkter på distribusjonsnettet. Stikkprøver i tillegg til onlinemålinger ca. hver 3. time ut fra høydebasseng og på distribusjonsnett.

Høydepunkter:

- Avdekket svakhet ved et vannbehandlingsanlegg.
- Ser endring i biologisk samfunn i forsyningssone som er assosiert med kintallsproblematikk og flere bergsprengte overføringstunneler.
- Stillestående vann.
- Forurensning (fortynnet avløpsvann mellom 1:10 000 og 1:1 000).

To instrumenter ble brukt der det ene målte hver 3. time på utløpet av et høydebasseng, mens det andre ble brukt som labinstrument der ukentlige stikkprøver ble analysert. Det ble foretatt kartlegging av vannbehandlingsanleggene og 11 prøvepunkt på distribusjonsnettet til et av vannbehandlingsanleggene ukentlig over ett år.

Lærdommer:

Manuelle stikkprøver:

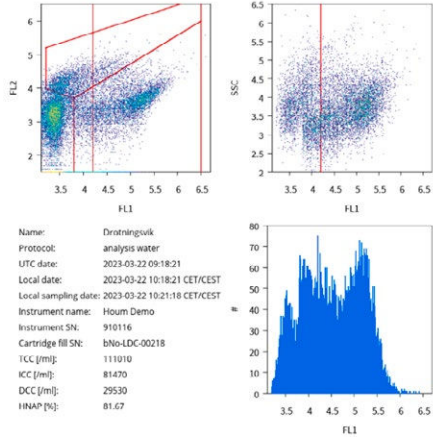
- Rent, trygt drikkevann kan inneholde flere hundre tusen bakterier (celler) per milliliter. Indikerer hvor lite vi vet om det mikrobiologiske samfunnet.
- Redusert rentvannskvalitet (økt celletall) under kildeomrøring.
- Et anlegg skilte seg kraftig ut fra resten – ikke-optimal koagulering til tross for at rutineprøver var ok.
- Vannbehandlingen setter nivået for celletallet på distribusjonsnettet.
- Litt økning i celler utover nettet ved økt temperatur.
- Stillestående vann fører til økt innhold av lavnukleære celler.
- Kartlegging av nytt område viser en økning i celletall (høynukleære) som ikke kan forklares med oppholdstid, mat og temperatur.
- Fortynningsserier av avløpsvann i drikkevann viser tydelig utslag mellom 1:10 000 og 1:1 000. *E. coli*-konsentrasjonen var da over 600 *E. coli* per 100 ml.
- Under en forurensningshendelse viste FCM forhøyede verdier i et område med sporadisk funn av fekale indikatorer. FCM viste at området der vannkvaliteten var endret, var større enn det de tradisjonelle prøvene viste.

Online:

- Vannkvalitet kan brukes for å følge vannet gjennom systemet.
- Avdekket ukjent volum på basseng.
- Stort sett stabile celletall.
- To anlegg som leverer ulik kvalitet – lærer mer om systemet.
- En hendelse som ikke kan forklares basert på driftsforhold – potensiell forurensning?

Erfaring med overvåkning av vannkvalitet		
Kontaktinformasjon		
Aktør/kommune:	Bergen Vann, Bergen kommune	
Kontaktperson:	Urd Eriksen	
E-post/telefon:	Urd.eriksen@bergen.kommune.no	47812707

Generell informasjon	
Navn på instrument/metode:	Bactosense flowcytometer
Leverandør/produsent:	Bnovate (tidl. Sigrist) levert av HOUM
Hva og hvordan fungerer det?	Flowcytometer teller bakterier i drikkevann. Den kan også gi noe informasjon om egenskapene til bakteriene gjennom fingerprints (se fig under).
Bakgrunn Hvorfor ble metoden/instrumentet tatt i bruk? Hvilke problemer ønsker man å løse/oppdage?	Ønskelig å gå mot mer overvåkning av drikkevann på distribusjonsnettet. Ideelt sett oppdage forurensning, ellers oppdage uvanlig vannkvalitet, avdekke sårbare områder eller bruk som feilsøkningsverktøy. Overordnet mål: Lære mer om vannkvalitet i distribusjonsnettet.
Online (måler kontinuerlig) eller manuell (stikkprøver)?	(Semi-)online. Koblet til vannstrømmen ut fra et høydebasseng med tidligere indikasjoner på redusert vannkvalitet (høy turbiditet og fosfor). Også brukt manuell versjon på lab.
Hvor lenge har dere brukt metoden?	Siden våren 2020.
Stadium: Utpørvingsfase eller inkludert i den daglige driften?	Fortsatt i læringsfase, men er implementert i driften med ukentlige prøver fra VBA og noen steder på nettet.
Metoden	
Hva kan metoden brukes til? - Konkretiser	- Flowcytometer viser antall bakterier i drikkevannet. - Kan si noe om endring i mikrobiologisk sammensetning. - Kan si noe om effekten av klor. - Kan si noe om hvor vannet kommer fra (dersom ulike vba har ulik kvalitet/ bakteriell sammensetning). - Kan avdekke stillestående vann. - Kan avdekke bakteriell forurensning ved høye konsentrasjoner (fortynnet avløpsvann mellom 1:10 000 og 1:1 000).
Hvilke begrensninger har den? - Hvilken informasjon gir metoden/instrumentet ikke?	- Kan ikke avdekke svært fortynnet forurensning (Det er opptil flere hundre tusen celler per milliliter drikkevann fra de fleste anleggene i Bergen noe som gjør det vanskelig å oppdage svært fortynnet forurensning. Metoden vil kunne gi mer informasjon i system der drikkevannet har lavt celletall – f.eks. behandlet med nanofilter.) - Celler inaktivert av UV vil vises som intakte celler. - Sier ikke hvilke bakterier som er til stede.
Prøver og resultater	
Parameter (hva måler den)?	Celler i størrelsesorden bakterier. Bruker LDC kassett som måler på intakte og ødelagte celler (ICC og DCC). DCC-parameteren er veldig usikker og denne kassetten skal utfases og erstattes med kassett som måler intakte celler.
Hvor ofte tas det prøver? (Hvor ofte kan det tas prøver?)	Ca. hver 4. time på utløp høydebasseng. Kan ta prøver ned i hvert 30 min og maks hver 6. time. På stikkprøvene på labinstrumentet tas det ukentlige prøver.
Hvor tas det prøver?	Online: Utløp høydebasseng Stikkprøver: rundt 10 punkt på distribusjonsnettet.

Hva er vanlige målte verdier? Størrelsesorden/variasjon	Vanlig størrelsesorden for vannbehandlingsanleggene i Bergen er 100 000 intakte celler (ICC) per milliliter +/- 50 000, med noe høyere verdier rundt omrøring i kildene. Et anlegg hadde sesongvariasjon opptil 600 000 ICC. Anlegget som bruker klor ligger mellom 20 000-100 000 ICC, men med betydelig andel ødelagte celler.
Hvordan håndteres data?	Data fra onlineinstrument er koblet opp mot SCADA-systemet, der numeriske verdier fra f.eks. intakte celler logges. I tillegg må plott hentes ut fra instrumentet. Det ble også benyttet en webløsning som viser utvikling av plottene og utvidet informasjon. Data behandles videre i Excel eller sammenstilles med andre parametre i SCADA-systemet. Data fra labinstrumentet hentes ut manuelt fra instrumentet og overføres til mappe i intranettet og bearbeides i Excel.  Name: Drotningvik Protocol: analysis water UTC date: 2023-03-22 09:18:21 Local date: 2023-03-22 10:18:21 CET/CEST Local sampling date: 2023-03-22 10:21:10 CET/CEST Instrument name: Houm Demo Instrument SN: 910116 Cartridge fill SN: bNo-LDC-00218 TCC [1/ml]: 111010 ICC [1/ml]: 81470 DCC [1/ml]: 29530 IRAP [%]: 81.67
Hvordan kan man feiltolke data?	Det var en del utfordringer med det ene instrumentet som viste unormalt høye verdier. Det er lett å tolke dette som en reell kraftig økning i bakterier, dersom man ikke har gode rutiner og sjekker instrument opp mot hverandre. Selv om FCM viser normale verdier, trenger ikke dette bety at det er tilfredsstillende vannkvalitet.
Hvordan håndteres høye/avvikende verdier?	Reanalyse og sammenligning med andre prøvesteder tatt samme dag. Kontakte drift – hendelser som kan forklare? Se på trend og supplerende data fra rutineprøver. Ta prøver i området og vurdering av fingerprint. Det er stort sett tatt ut bakterieprøver samtidig med FCM
Grensesnitt mot andre metoder - Brukes informasjonen alene eller i sammenheng med andre resultater?	Informasjonen brukes sammen med online turbiditetsdata fra samme lokasjon samt rutineprøver og driftsdata (nivå, temperatur og vannmengder). Det er også tatt ut stikkprøver med utvidet parameterliste ca. annenhver uke.
Hvilken rolle har de som følger opp prøvene?	Prosjektansvarlig for prosjektet som instrumentutprøvingen er en stor del av. Ansatt i FoU-gruppen.
Drift og vedlikehold	
Praktiske begrensninger: - Hvor den kan plasseres? - Krav til strøm? - Fuktighet/temperatur - Størrelse/plasskrav	Trenger strøm og ideelt sett nettverkstilkobling. Bør ikke være for fuktig, men har IP65 (?) koblinger og sensor dersom det blir for fuktig. Bør ikke være for kaldt (ikke under 4 grader). Monteres på vegg eller lignende. Størrelse ca. 40x40x30cm.
Hvor ofte må det: - Føres tilsyn - Kalibreres - Bytte kjemikalier/deler	Bør ha tilsyn annenhver måned (oftere i starten). Instrumentet har mange alarmer innebygd og med fjernovervåkningsmulighet, er det ikke behov for hyppig tilsyn. Trenger ikke kalibrering, men bør sjekkes mot kjente flaskevann eller kryssjekk mot annet instrument. Serviceplan blir fulgt opp fra leverandør (ca. 1 gang per år). Kjemikaliebytte hver 21-300 dager avhengig av prøvehyppighet.
Kompabilitet med SCADA-system?	Mulig å koble opp mot styringssystem.

Kostnader og ressurskrav	
Kostnader og ressurskrav: - Innkjøpskostnad - Reagenser/driftskostnader - Ekstrakostnader? - Kostnad per analyse - Forventet levetid	Innkjøpskostnad i underkant av 500 000 eks. MVA. Påfyll kjemikalier ca. 30 000 eks. MVA (1 000 målinger). 30 kr per analyse i kjemikaliekostnader. Ekstrakostnader vil inkludere egen arbeidsinnsats og eventuelt prøvetakingsutstyr ved stikkprøver.
Hvor mye tid trengs til oppfølging? Behov for dedikert personell?	Utvikling av metode, forståelse av nettet og prøvehenting/analyse har vist behov for dedikert personell i oppstartsfasen av instrumentet.
Miljø - Genereres det avfall? - Hvordan håndteres det?	Avfall/brukte kjemikalier samles opp i tank inne i instrumentet som sendes tilbake til leverandør for påfylling av nye kjemikalier.
Bruksområde	
Eksempler på bruk andre steder/land	Sveits: aktivt brukt i overvåkning av drikkevannsnettet med etablerte varsel og alarmgrenser. Sverige: Forskningsprosjekt. Ny prosess på behandlingsanlegg – effekt på nett og biofilm. England: Brukt i overvåkning av drikkevann på vannbehandlingsanlegg. Nederland: Bl.a. på distribusjonsnett.
Hva kan dette konkret benyttes til?	Ny kunnskap om vannforsyningssystemet. Overvåkning vannbehandlingsanlegg. Endring i vannkvalitet på nettet (feilsøking Avdekke forurensningssituasjoner med svært høye konsentrasjoner (størrelsesorden 1 liter avløpsvann i 1 000-liters dunk rentvann). Avdekke stillestående vann på ledningsnettet).
Vurdering	
Hvor fornøyd er dere med metoden?	Har lært veldig mye ved bruk av instrumentet og spesielt prosjektet rundt utprøvingen av dette.
Hva har dere funnet ut av? Eksempel på noe man ikke visste fra før?	Drikkevannet inneholdt større mengder bakterier enn forventet. Det var forskjeller i celletall/sammensetning fra ulike vannbehandlingsanlegg. Bakterieinnholdet på distribusjonsnettet var svært likt vannbehandlingsanlegget både i antall og sammensetning. En annen del av distribusjonsnettet viste en endring i vannkvalitet. Det ene vannbehandlingsanlegget hadde en 5-dobling av celler på sensommer/høst. Stillestående vann gir en økning i antall bakterier (og noe endret sammensetning). Det er ikke observert korrelasjon mellom kimtall og totalt antall bakterier. Avdekket svakhet i en distribusjonssone ved forhøyede verdier. Forurensningshendelse: Sannsynligvis større område påvirket av redusert vannkvalitet enn det tradisjonelle metoder avdekket.
Vil du anbefale metoden for andre? - Hvem?	Man bør ha nok ressurser til å sette seg inn i muligheter/begrensningene til metoden og tolkning av resultat. Kan være spesielt nyttig for anlegg som har svært lavt celletall som f.eks. nanofiltrering og evt. grunnvannskilder.

Annet	
Annen relevant informasjon	

Oppsummering av fordeler og ulemper:

Fordeler	Ulemper
Rask analyse (20 min) Viser totalt antall bakterier Ekstra informasjon: intakte og ødelagte celler Skiller på høy-/lavnukleære celler Lite vedlikehold ...	Ikke hvilke bakterier Relativt dyrt instrument Viser celler med intakt membran (UV-effekt vises ikke)

2.1.3 Utgifter

I tillegg til selve instrumentet kommer det utgifter i form av påfyll av kjemikalier og drift/vedlikehold.

Et online flowcytometer kommer med innebygd beholder med kjemikalier. Denne må fylles på med jevne mellomrom basert på hvor hyppig prøvene tas. Se Tabell 3 for eksempel.

Eksempel med Bactosense 2021:

LDC-cartridge

1 000 målinger per beholder

Pris påfyll: ca. 26 000 NOK (eks. MVA)

Tabell 3: Driftskostnad per måned i kjemikalier til Bactosense.

Hyppighet (hver...)	Prøver per døgn	Dager per beholder	Pris per måned (basert på 26K)
30 min	48	21	37 000
1 time	24	42	19 000
2 time	12	83	9 500
4 time	6	167	4 700
6 time*	3	333	2 300

* NB: Holdbarhet på kjemikaliene ligger på ca. 6-12 måneder.

2.2 Trondheim kommune

Hva: Flowcytometer for overvåkning av celletall på vannbehandlingsanlegg og etter rentvannstunell.

Erfaring med overvåkning av vannkvalitet		
Kontaktinformasjon		
Aktør/kommune:	Trondheim kommune	
Kontaktperson:	Karen Hernes Buan	
E-post/telefon:	97599622	
Generell informasjon		
Navn på instrument/metode:	BactoSense	
Leverandør/producent:	Dipl.ing Houm AS	
Hva og hvordan fungerer det?	Flowcytometer som teller levende celler.	
Bakgrunn Hvorfor ble metoden/instrumentet tatt i bruk? Hvilke problemer ønsker man å løse/oppdage?	Overvåking av rentvannstunellen.	
Online (måler kontinuerlig) eller manuell (stikkprøver)?	Online og manuell.	
Hvor lenge har dere brukt metoden?	Montert desember 2021.	
Stadium: Utprøvningsfase eller inkludert i den daglige driften?	Foreløpig kartlegging og samling av data.	
Metoden		
Hva kan metoden brukes til? - Konkretiser		
Hvilke begrensninger har den? - Hvilken informasjon gir metoden/instrumentet ikke?	Ingen kvantifisering av hvilke celler, kun etter om de er levende eller ikke, totalantall, og størrelse på cellene.	
Prøver og resultater		
Parameter (hva måler den)?	Teller antall celler.	
Deteksjonsgrense Hva er laveste og høyeste konsentrasjon instrumentet kan måle?		
Hvor ofte tas det prøver? (Hvor ofte kan det tas prøver?)	Hver 6 time. Intervallet kan endres, til f. eks hver 3. time.	
Hvor tas det prøver?	Vi har 2 instrument. 1 på vannbehandlingsanlegget hvor vi kan velge om vi vil ta prøver av råvann eller rentvann, og 1 etter rentvannstunellen.	
Hva er vanlige målte verdier? Størrelsesorden/variasjon	65 000 - 150 000 ICC (intakte celler).	

<i>Hvordan håndteres data?</i>	Foreløpig samler vi data for å kartlegge normalverdi og for å se eventuelle endringer. Følges med av driftspersonell.
<i>Hvordan kan man feiltolke data?</i>	
<i>Hvordan håndteres høye/avvikende verdier?</i>	Ser i sammenheng med andre parameter som turbiditet, vannmengde, kimtall, temperatur.
<i>Grensesnitt mot andre metoder</i> - Brukes informasjonen alene eller i sammenheng med andre resultater?	Har ikke utført grundige sammenligningsstudier enda, men tenker at det kan vurderes opp mot turbiditet, kimtall, evt. ATP, og se endringer i forbindelse med hendelser.
<i>Hvilken rolle har de som følger opp prøvene?</i>	Driftsingeniør
Drift og vedlikehold	
<i>Praktiske begrensninger:</i> - Hvor den kan plasseres? - Krav til strøm? - Fuktighet/temperatur - Størrelse/plasskrav	Kan plasseres hvor som helst inne, men må ha tilgang til strøm og vann. Instrumentet er ca. 40x50 cm.
<i>Hvor ofte må det:</i> - Føres tilsyn - Kalibreres - Bytte kjemikalier/deler	En cartridge varer til 1000 analyser. Kjøres rensekit ca. hver 6.mnd. Service 1 gang i året.
<i>Kompatibilitet med SCADA-system?</i>	Ja
Kostnader og ressurskrav	
<i>Kostnader og ressurskrav:</i> - Innkjøpskostnad - Reagenser/driftskostnader - Ekstrakostnader? - Kostnad per analyse - Forventet levetid	Innkjøp: ca. 550 000 kr Cartridge: 10 000 kr Service:
<i>Hvor mye tid trengs til oppfølging?</i> <i>Behov for dedikert personell?</i>	
<i>Miljø</i> - Genereres det avfall? - Hvordan håndteres det?	Ingen/lite avfall, cartridge gjenbrukes (sendes inn til fylling).
Bruksområde	
<i>Eksempler på bruk andre steder/land</i>	
<i>Hva kan dette konkret benyttes til?</i>	

Vurdering	
Hvor fornøyd er dere med metoden?	Enkel i bruk, krever lite.
Hva har dere funnet ut av? Eksempel på noe man ikke visste fra før?	
Vil du anbefale metoden for andre? - Hvem?	Andre vannverk, evt. forskningsinstitusjoner/universitet.
Annet	
Annen relevant informasjon	

ATP

3.1 IVAR

Hva: Metoden er brukt for kartlegging av ATP-nivået på ledningsnettet og nå også til overvåking av nytt prosessanlegg med ozon biofiltrering. Det vil trolig benyttes i en periode hvor biofilter skal optimaliseres. Resultatene brukes sammen med andre data.

Lærdommer: Ser ikke store endringer i vannkvalitet etter igangsettelse av ny prosess.

Erfaring med overvåkning av vannkvalitet		
Kontaktinformasjon		
Aktør/kommune:	IVAR	
Kontaktperson:	Unni S Lea	
E-post/telefon:	Unnis.lea@ivar.no	47509526
Generell informasjon		
Navn på instrument/metode:	2nd Generation ATP testing	
Leverandør/produsent:	Luminultra	
Hva og hvordan fungerer det?	Prinsipp: Vann filtreres og celler fester seg til filter. Lyserende løsning tilsettes og eluat testes ved tilsetning av luciferase. Løsning avleses i luminometer.	
Bakgrunn Hvorfor ble metoden/instrumentet tatt i bruk? Hvilke problemer ønsker man å løse/oppdage?	Metoden er brukt for kartlegging av ATP-nivå på ledningsnett og nå også til overvåking av nytt prosessanlegg. Det vil trolig benyttes i en periode hvor biofilter skal optimaliseres. 1. Overvåke ledningsnett ny/gammel vannkvalitet (om det er skjedd en endring – reduserer mat til bakterier på nettet – vil vi se effekter av redusert «liv» på nettet)? 2. VBA optimalisering – Biofilter – ønsker å spyle filter, men vil ikke fjerne biofilmen heller – Biofilter – bakterier ATP.	
Online (måler kontinuerlig) eller manuell (stikkprøver)?	Manuell.	
Hvor lenge har dere brukt metoden?	Siden ca. 2018.	
Stadium: Utprøvningsfase eller inkludert i den daglige driften?	I den daglige driften for overvåking. Overvåkingen er et avgrenset prosjekt.	
Metoden		
Hva kan metoden brukes til? - Konkretiser	Metoden kan brukes til beskrivelse av nivå levende celler i en prøve.	
Hvilke begrensninger har den? - Hvilken informasjon gir metoden/instrumentet ikke?	Metoden skal fortelle oss om mikrobiologisk aktivitet i vannet. ATP er et energimolekyl som finnes i alle levende celler. Den skiller ikke mellom f. eks mugg, bakterier og parasitter. Den vil heller ikke direkte kunne relateres til antall. Ulike celler vil kunne inneholde ulikt antall ATP.	

Prøver og resultater	
Parameter (hva måler den)?	ATP i intakte celler.
Deteksjonsgrense Hva er laveste og høyeste konsentrasjon instrumentet kan måle?	
Hvor ofte tas det prøver? (Hvor ofte kan det tas prøver?)	Det tas prøver ukentlig i prosessen og hver 14. dag på ledningsnettet.
Hvor tas det prøver?	I oppstart av nytt anlegg har vi tatt prøver fra hver delprosess. På ledningsnettet tas det hver 14. dag.
Hva er vanlige målte verdier? Størrelsesorden/ variasjon	Fra 0,1 – 40 pg ATP/ml avhengig om en er i råvann/prosess eller renvann.
Hvordan håndteres data?	Data plottes i regneark hvor formel for omdanning fra avlest verdi til mg/ml beregnes. Data benyttes som støtte til andre resultat.
Hvordan kan man feiltolke data?	En må ha i minnet at dette ikke er en metode som tar alle mikroorganismer og at en ikke nødvendigvis finner samme mønster som f.eks. kimtall.
Hvordan håndteres høye/avvikende verdier?	Data har foreløpig blitt brukt til overvåking og ikke styrende. En kan tenke seg at høyt ATP nivå på nettet kan brukes for å avdekke behov for rengjøring av ledninger.
Grensesnitt mot andre metoder - Brukes informasjonen alene eller i sammenheng med andre resultater?	Data brukes ikke alene. Resultatene ses i sammenheng med resultat fra andre parameter.
Hvilken rolle har de som følger opp prøvene?	Driftsteknikere tar ut prøver og ingeniører utfører analysene. Data tolkes av ansvarlig ingeniør og fagansvarlig.
Drift og vedlikehold	
Praktiske begrensninger: - Hvor den kan plasseres? - Krav til strøm? - Fuktighet/temperatur - Størrelse/plasskrav	Vi har instrumentet i en koffert og kan frakte det med oss i felt. Luminometeret kan kobles til strøm og har batteri (dårlig kapasitet). Instrumentet kan lett ryddes vekk mellom hver bruk, men vi har det stående på benk hele tiden. Størrelsen på kofferten er ca. 30x25 cm. Vi trenger i tillegg lagerplass til kjemikalier, sprøyter og filter.
Hvor ofte må det: - Føres tilsyn - Kalibreres - Bytte kjemikalier/deler	Det utføres ingen service på instrumentet. Det benyttes en standard ved oppstart av hver prøveserie som resultatene relateres mot.
Kompabilitet med SCADA-system?	Vårt instrument er ikke lagt opp til det. Kjenner ikke til om det er mulig.
Kostnader og ressurskrav	
Kostnader og ressurskrav: - Innkjøpskostnad - Reagenser/driftskostnader - Ekstrakostnader? - Kostnad per analyse - Forventet levetid	Innkjøp av Luminometer ca. 40 000 kr (?) En kjøper kit der reagenser og engangsutstyr følger med. Standarden leveres som frysetørket pulver. Etter utblanding vil den ha begrenset holdbarhet, men ved oppbevaring mørkt og kaldt vil den vare i flere måneder. Analysekostnaden er ca. 100 kr per stykk.

Hvor mye tid trengs til oppfølging? Behov for dedikert personell?	Utførelsen er enkel og det er ikke behov for dedikert personell. Vi benytter resultatene i en overvåking og trenger ikke ukentlig oppfølging.
Miljø - Genereres det avfall? - Hvordan håndteres det?	Det benyttes engangsutstyr til analysen. Dette kastes i restavfall. Kjemikaliene kan helles ut i vasken.
Bruksområde	
Eksempler på bruk andre steder/land	Zurich bruker ATP som overvåkingsparameter for mikrobiologisk kvalitet.
Hva kan dette konkret benyttes til?	Høyt ATP-innhold viser at det er mikrobiologisk aktivitet og at det er behov for tiltak for å trygge drikkevannet.
Vurdering	
Hvor fornøyd er dere med metoden?	Ut fra hva vi ønsket undersøkt er vi fornøyd med metoden.
Hva har dere funnet ut av? Eksempel på noe man ikke visste fra før?	F.eks. kimtall jevnt, ATP større variasjoner.
Vil du anbefale metoden for andre? Hvem?	Metoden er enkel og gir raskt svar. Kan anbefales som supplement til andre metoder.
Annet	
Annen relevant informasjon	Metoden er rask og er en sensitiv indikator for mikrobiologisk aktivitet. Nyttige lenker: https://www.luminultra.com/tech/2nd-generation-atp/ https://promega.widen.net/s/wqvbhj7vgw/water-glo-drinking-water-case-study-cs003

Oppsummering av fordeler og ulemper:

Fordeler	Ulemper
Gir raskt svar Enkel metode	Ikke selektiv Liten erfaring i Norge med bruk av ATP-overvåking Manuell metode (finnes mer avanserte instrumenter som er mer automatisert)

Turbiditet

4.1 Bærum kommune

Hva: Bærbar enhet som brukes i forbindelse med langvarig arbeid på nett.

En selvkomponert bærbar turbiditetsmåler sammensatt av måler, logger og annet koblingsutstyr ble installert på hovedledningen i forbindelse med langvarig arbeid på nettet. Bakgrunnen var å se om turbiditet kunne si noe om vannkvaliteten og driftsforstyrrelser ved arbeid og for å eventuelt ta ut ekstra prøver ved utslag på turbiditet. Enheten ble prøvd ut et par ganger i 2019, men stoppet opp pga. manglende ressurser (personell). En lærdom fra utprøvingen var at målingene bør skje online, med alarm slik at man kan ta ekstra prøver når turbiditetstoppen er der. Målinger har mindre verdi når avlesning av data skjer i ettertid. Det ble påvist flere turbiditetstopper som ikke kunne forklares og en lokasjon viste forhøyede turbiditet over flere dager.

Erfaring med overvåkning av vannkvalitet		
Kontaktinformasjon		
Aktør/kommune:	Bærum kommune, vann og avløp – drift og beredskap	
Kontaktperson:	Lisbeth Sloth	
E-post/telefon:	Lisbeth.sloth@baerum.kommune.no	909 31 484
Generell informasjon		
Navn på instrument/metode:	MTM (mobil turbiditetsmåler) "Hjemmelaget" transportabel koffert med: Hach Lange Ultraturb Pluss SC (Turbiditetsmåler, måleområde 0-1000 FNU), Hach Lange SC200 Universal Transmitter(datalogger), 2 stk Panasonic 12V/12Ah blybatterier, Simens Sitop Power Supply og hovedstrømsbryter, Slangere og koblingsutstyr for montering på brannventil.	
Leverandør/produzent:	Se over! Det selges mange forskjellige online turb.målere, men vi laget en egen MTM som ble brukt til utprøvingen.	
Hva og hvordan fungerer det?	Denne monteres på brannventil i kum og måler turbiditet over tid (dager/uker).	

<i>Bakgrunn</i> <i>Hvorfor ble metoden/instrumentet tatt i bruk?</i> <i>Hvilke problemer ønsker man å løse/oppdage?</i>	Klager på partikler i drikkevannet. Kommer de fra hovedledningen? Overvåking av partikler i et område med langvarig anleggsarbeid og mange vannavstengninger. Ønsket å teste om turbiditet er en parameter som vil kunne si noe om vannkvaliteten og driftsforstyrrelser. Vil turbiditetsmåling ute i ledningsnettets kunne være en del av driftsovervåkingen og si noe om forandringer i vannkvaliteten? Slik at evt. ekstra prøver kunne tas mer presist for å avdekke evt. forurensning/nedsatt vannkvalitet. Ved å ha mange målere i distribusjonsnettets vil høy turb. i ledningsnettets kunne relateres til dårlig vannkvalitet og evt. funn av mikroorganismer? Overordnet mål er å lære mer om vannkvaliteten i distribusjonsnettets.
<i>Online (måler kontinuerlig) eller manuell (stikkprøver)?</i>	Instrumentet monteres i kum/stasjon og måler hver 30 sek (eller andre intervaller) kontinuerlig i flere døgn/uker/måneder.
<i>Hvor lenge har dere brukt metoden?</i>	Et par ganger i 2019.
<i>Stadium: Utprøvningsfase eller inkludert i den daglige driften?</i>	Utprøving. Stoppet opp pga. ressursmangel i rørlegger-gruppa.
Metoden	
<i>Hva kan metoden brukes til?</i> - Konkretiser	Avdekke turbiditetstopper og sjekke om de kan relateres til driftsforstyrrelser. Ekstra prøvetaking i områder/ledninger med høy turbiditet. Vil vi finne noe uvanlig?
<i>Hvilke begrensninger har den?</i> - Hvilken informasjon gir metoden/instrumentet ikke?	?? Vi kom ikke så langt i utprøvingen.
Prøver og resultater	
<i>Hvor ofte tas det prøver?</i> <i>(Hvor ofte kan det tas prøver?)</i>	Kan innstilles på ulike intervaller fra 5 sek-30 min. Vi testet med 15 min-intervaller.
<i>Hvor tas det prøver?</i>	I kum eller stasjon. Vanskelig å vurdere hvor instrumentet skal plasseres. Hvor er det mest hensiktsmessig? (evt. Et sted hvor det også er strøm og nettdekning hvis online-kobling).
<i>Hvordan håndteres data?</i>	Vi overførte målingene til SD-kort og laget grafer i excel.
<i>Hvordan kan man feiltolke data?</i>	
<i>Hvordan håndteres høye/avvikende verdier?</i>	Bør komme automatiske alarmer ved forhøyet verdier. Må lages kriterier for hvilke alarmer som skal følges opp med tiltak – evt. prøvetaking. (har ikke tenkt mye på dette, da vårt utprøvningsinstrument ikke er online).
<i>Grensesnitt mot andre metoder</i> - Brukes informasjonen alene eller i sammenheng med andre resultater?	Må sees i sammenheng med andre parametere f.eks. trykk, vannmengder, temp., vannavslag, andre driftsforstyrrelser/hendelser.
<i>Hvilken rolle har de som følger opp prøvene?</i>	Bør være drikkevannsansvarlig.

Drift og vedlikehold	
Praktiske begrensninger: - Hvor den kan plasseres? - Krav til strøm? - Fuktighet/temperatur - Størrelse/plasskrav	Det er batteri i denne, men online-målere trenger strøm og nettilkobling. I kummer og stasjoner.
Hvor ofte må det: - Føres tilsyn - Kalibreres - Bytte kjemikalier/deler	Noe rengjøring (av målcella).
Kompabilitet med SCADA-system?	Ikke dette, men online instrumentene er det.
Kostnader og ressurskrav	
Kostnader og ressurskrav: - Innkjøpskostnad - Reagenser/driftskostnader - Ekstrakostnader? - Kostnad per analyse - Forventet levetid	Ca. kr. 50.000 pr instrument ++ +Installasjon og oppkobling til driftskontrollen.
Hvor mye tid trengs til oppfølging? Behov for dedikert personell?	Ja, noen må følge med på verdiene – bør kunne sende alarm ved forhøyet verdier.
Miljø - Genereres det avfall? - Hvordan håndteres det?	Nei.
Bruksområde	
Eksempler på bruk andre steder/land	Online turb.målere brukes mange steder i vannbehandlingsanlegg og høydebassenger.
Hva kan dette konkret benyttes til?	Avdekke sårbare områder på ledningsnettet ved å måle turbiditet som en del av overvåkningen av vannkvaliteten??
Vurdering	
Hvor fornøyd er dere med metoden?	Har fått noe data. Mye arbeid med å sette ut og flytte instrumentet. Tungvint å samle inn data og lage grafer manuelt fra ikke online-måleinstrumentet.

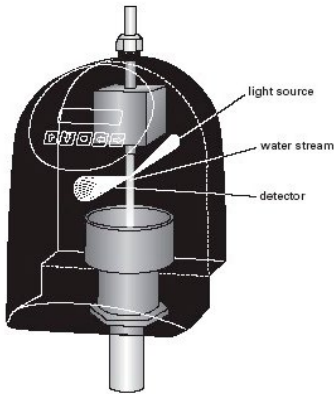
<i>Hva har dere funnet ut av?</i> <i>Eksempel på noe man ikke visste fra før?</i>	Vi fikk ikke kjørt så mange målinger, da personen med kompetanse gikk av med pensjon. Fant at turbiditeten er ganske stabil i ledningsnettet. Morgenforbruket påvirker turbiditeten litt – sees små topper. Alle under grenseverdi. Men vannavslag påvirker en del og gir forbigående høye verdier. En lokasjon viste forhøyet verdier $>1 < 4$ over flere dager, med mange enkelt målinger på 6-8 FNU. Var i et område med endret vannforsyning med stengte ventiler som vanligvis står åpen og åpne ventiler som vanligvis står stengt. Fant flere turb.-topper som ikke kunne forklares. Så enkelt målinger på opptil 8 FNU, flere på 2-4 FNU. Fikk ikke tatt ekstra vannprøver. Avlesningen fra SD-kortet skjedde lenge etter målingen ble foretatt. Man må ha online-målinger i sanntid for å kunne ta relevante vannprøver.
<i>Vil du anbefale metoden for andre?</i> - Hvem?	Ikke foreløpig!
Annet	
<i>Annen relevant informasjon</i>	Usikker på nytteverdien. Vil målingene gi oss mer kunnskap om vannkvaliteten i ledningsnettet? Har alt for lite materiale til å kunne konkludere noe. Kunne tenke meg å fortsette utprøvingen, men burde hatt flere måleinstrumenter ute samtidig.

Oppsummering av fordeler og ulemper:

Fordeler	Ulemper
Kan være et tillegg til vanlig overvåkningsprogram??	Blir dyrt i anskaffelse når det er snakk om mange instrumenter. Mye arbeid med utsetting og oppkobling, evt. flytting.

4.2 Bergen kommune – Aquascat

Hva: Permanent måling av turbiditet ved utløp av et basseng.

Erfaring med overvåkning av vannkvalitet		
Kontaktinformasjon		
Aktør/kommune:	Bergen Vann, Bergen kommune	
Kontaktperson:	Urd Eriksen	
E-post/telefon:	Urd.eriksen@bergen.kommune.no	47812707
Generell informasjon		
Navn på instrument/metode:	Online turbiditetsmåler Aquascat WTM A.	
Leverandør/produsent:	HOUM/Sigrist.	
Hva og hvordan fungerer det?	Permanent måling av turbiditet ved utløp av et basseng. En turbiditetsmåler (AquaScat 2 WTM) ble installert på utløpet av et kritisk drikkevannsmagasin sammen med et flowcytometer. Fallende vannstråle som sensoren måler gjennom. Dette fører til minimalt behov for vedlikehold. Autokalibrering, minimalt med service. 	
Bakgrunn	<i>Hvorfor ble metoden/instrumentet tatt i bruk?</i> <i>Hvilke problemer ønsker man å løse/oppdage?</i>	
Online (måler kontinuerlig) eller manuell (stikkprøver)?	I et tidligere prosjekt ble det påpekt at høydebassenget hadde høye verdier av turbiditet og fosfor. Det var frykt for at dette skyldtes innlekking av fremmedvann til bassenget. For å kartlegge dette nærmere ble det installert en kontinuerlig turbiditetsmåler sammen med et flowcytometer.	
Online (måler kontinuerlig) eller manuell (stikkprøver)?	Online.	
Hvor lenge har dere brukt metoden?	Siden våren 2020.	
Stadium: Utprøvningsfase eller inkludert i den daglige driften?	Utprøvningsfase i forbindelse med prosjekt, men står fast installert.	
Metoden		
Hva kan metoden brukes til?	Brukes på strategiske punkter på nettet for å avdekke driftsforstyrrelser.	
- Konkretiser		
Hvilke begrensninger har den?	<i>Hvilken informasjon gir metoden/instrumentet ikke?</i>	
- Hvilken informasjon gir metoden/instrumentet ikke?	Gir ikke informasjon om vannet er helsemessig trygt, men kan gi en indikasjon på at det har skjedd endringer på nettet. NB: Ingen økning i turbiditet må ikke mistolkes som at det ikke kan være forurensning til stede.	

Prøver og resultater	
<i>Deteksjonsgrense</i> <i>Hva er laveste og høyeste konsentrasjon instrumentet kan måle?</i>	Til bruk på rentvann. Måleområde: 0-4000 FNU. Oppløsning på 0,001 FNU.
<i>Hvor ofte tas det prøver?</i> <i>(Hvor ofte kan det tas prøver?)</i>	Kontinuerlig. Minuttsverdier logges i SCADA-system.
<i>Hvor tas det prøver?</i>	Ved utløpet av et bergsprengt drikkevannsmagasin.
<i>Hva er vanlige målte verdier? Størrelsesorden/ variasjon</i>	0,05 – 0,2 FNU. Høyeste målt: 0,6 FNU.
<i>Hvordan håndteres data?</i>	Logges i SCADA-system. Ved spesifikke hendelser hentes det ut rådata som bearbeides i Excel.
<i>Hvordan kan man feiltolke data?</i>	Endringer i forsyningssituasjon kan gi økt turbiditet som ikke skyldes f.eks. innlekking.
<i>Hvordan håndteres høye/avvikende verdier?</i>	Det er ikke etablert alarmgrense. Verdiene sjekkes med jevne mellomrom som en del av prosjektet. Ellers brukes det i driften ved ulike hendelser.
<i>Grensesnitt mot andre metoder</i> - <i>Brukes informasjonen alene eller i sammenheng med andre resultater?</i>	Datamaterialet brukes i kombinasjon med andre driftsdata (vannføring, forsyningssituasjon, nivå) og andre parametere (flowcytometerdata og vannprøver) samt eksterne data som nedbør.
<i>Hvilken rolle har de som følger opp prøvene?</i>	FoU-ingeniør. Jobber fulltid med ulike vannkvalitetsprosjekter.
Drift og vedlikehold	
<i>Praktiske begrensninger:</i> - <i>Hvor den kan plasseres?</i> - <i>Krav til strøm?</i> - <i>Fuktighet/temperatur</i> - <i>Størrelse/plasskrav</i>	Se lenke til datablad.
<i>Hvor ofte må det:</i> - <i>Føres tilsyn</i> - <i>Kalibreres</i> - <i>Bytte kjemikalier/deler</i>	Det føres tilsyn med ujevne mellomrom, ca. hver 3 mnd. Instrumentet autokalibreres. Krever lite vedlikehold.
<i>Kompatibilitet med SCADA-system?</i>	Ja.
Kostnader og ressurskrav	
<i>Kostnader og ressurskrav:</i> - <i>Innkjøpskostnad</i> - <i>Reagenser/driftskostnader</i> - <i>Ekstrakostnader?</i> - <i>Kostnad per analyse</i> - <i>Forventet levetid</i>	Ca. 80 000 NOK i innkjøp 2020. Ingen reagenser. Kun en sensor som måler gjennom vannstrømmen.
<i>Hvor mye tid trengs til oppfølging?</i> <i>Behov for dedikert personell?</i>	Lite. Nei.

Miljø - Genereres det avfall? - Hvordan håndteres det?	Vannstrøm ut fra instrumentet. 2,5-7 l/min. Til drenering.
Bruksområde	
<i>Eksempler på bruk andre steder/land</i>	
<i>Hva kan dette konkret benyttes til?</i>	Turbiditet er en generell parameter som kan indikere endringer/hendelser på distribusjonsnettet. Som en del av det store bildet.
Vurdering	
<i>Hvor fornøyd er dere med metoden?</i>	Svært fornøyd. Lett vedlikehold, enkel i bruk.
<i>Hva har dere funnet ut av?</i> <i>Eksempel på noe man ikke visste fra før?</i>	Vannkvalitet (turbiditet og FCM) avslørte at bassenget var nesten dobbelt så stort som antatt. Oppvirvling av partikler i forbindelse med senkning av vannstand over høydebrekk i bassenget før.
<i>Vil du anbefale metoden for andre?</i> - Hvem?	De som ønsker fast overvåkning av turbiditet på distribusjonsnettet.
Annet	
<i>Annen relevant informasjon</i>	Link til datablad: https://www.houm.no/wp-content/uploads/2019/07/AquaScatdatablad.pdf

Oppsummering av fordeler og ulemper:

Fordeler	Ulemper
Lite vedlikehold Enkelt	Relativt dyrt

4.3 Bergen kommune – Nephnet

Hva: Bærbar turbiditetsmåler, brukt på spylevann i forbindelse med rengjøring i distribusjonsnettet.

Erfaring med overvåkning av vannkvalitet		
Kontaktinformasjon		
Aktør/kommune:	Bergen Vann, Bergen kommune	
Kontaktperson:	Christer Hopland	
E-post/telefon:	Christer.hopland@bergen.kommune.no	
Generell informasjon		
Navn på instrument/metode:	Bærbar turbiditetsmåler (Nephnet) kobles så nært utspylingspunkt som mulig. Turbiditeten overvåkes under spylingen. Spylingen kan tidligst avsluttes når turbiditeten kommer under 4 FNU.	
Leverandør/produsent:	ATi UK.	
Hva og hvordan fungerer det?	Måler turbiditet. Bruker infrarøde signaler for å måle partiklene i vannstrømmen. Kommer i en koffert med måler og nødvendig utstyr.	
Bakgrunn Hvorfor ble metoden/instrumentet tatt i bruk? Hvilke problemer ønsker man å løse/oppdage?	Se resultatet på spylevannet i forbindelse med rengjøring i distribusjonsnettet. Krav til under 4 i turbiditet når man er ferdig med å spyle. Opprinnelig brukt for å ta RPM-tester for å indikere spylebehov.	
Online (måler kontinuerlig) eller manuell (stikkprøver)?	Online.	
Hvor lenge har dere brukt metoden?	Turbiditet brukt i lang tid. Nephnet siden tidlig 2019.	
Stadium: Utprøvningsfase eller inkludert i den daglige driften?	Brukes i daglig drift.	
Metoden		
Hva kan metoden brukes til? - Konkretiser	For å se om vi finner partikler i vannet. Brukes spesifikt i forbindelse med rengjøring av vannledningsnettet ref. over. Kan også brukes til RPM – men vi har erfart at det tar like lang tid å rigge dette som å gjennomføre selve spylingen. Kan evt. begrense spylebehov, men ikke ressurser til å gjøre disse vurderingene (analysere resultater).	
Hvilke begrensninger har den? - Hvilken informasjon gir metoden/instrumentet ikke?	Egentlig laget for å stå på et sted over lengre perioder. Tåler mindre godt å koble av og på ofte. Spesielt elektronikken. Flere er blitt ødelagt med det bruksområdet de har i dag.	
Prøver og resultater		
Deteksjonsgrense Hva er laveste og høyeste konsentrasjon instrumentet kan måle?	0-400 NTU	
Hvor ofte tas det prøver? (Hvor ofte kan det tas prøver?)	Hver gang vi spyle – ganske ofte. Flyttes rundt og måler på hvert delstrekk.	

<i>Hvor tas det prøver?</i>	På eller i nærhet av utspylingspunkt (typisk hydrant eller brannkule).
<i>Hva er vanlige målte verdier? Størrelsesorden/ variasjon</i>	Alt fra 0 til 400 NTU. Som regel 0-100.
<i>Hvordan håndteres data?</i>	Loggførte data fra hver spyling lagres lokalt i mappestruktur.
<i>Hvordan kan man feiltolke data?</i>	Gir en del feilkilder i form av finmasket elektronikk. F.eks. tar på ledning under måling – gir utslag. Henstandsvann (vannet som står i stigerøret på hydrant) må tappes før man kobler på turbiditetsmåleren. Kan bli liggende i sensoren en stund.
<i>Hvordan håndteres høye/avvikende verdier?</i>	Spyler ledningen til verdien er under 4 NTU. Forlenger prosjektert spyletid ved behov for å oppnå tilstrekkelig vannkvalitet.
<i>Grensesnitt mot andre metoder</i> <i>- Brukes informasjonen alene eller i sammenheng med andre resultater?</i>	Brukes alene.
<i>Hvilken rolle har de som følger opp prøvene?</i>	Driftsingeniører.
Drift og vedlikehold	
<i>Praktiske begrensninger:</i> <i>- Hvor den kan plasseres?</i> <i>- Krav til strøm?</i> <i>- Fuktighet/temperatur</i> <i>- Størrelse/plasskrav</i>	Kobles på en nor-kobling på f.eks. brannventil. Bærbar, batteridrevet. Ingen begrensninger på fuktighet og temperatur. Loggeren er liten. Ca. 10x10 cm.
<i>Hvor ofte må det:</i> <i>- Føres tilsyn</i> <i>- Kalibreres</i> <i>- Bytte kjemikalier/deler</i>	Sensoren rengjøres etter hver spyling. Har ikke kalibrert. Erfaringsmessig må kabler byttes hvert 3. år pga. slitasje.
<i>Kompabilitet med SCADA-system?</i>	Nei.
Kostnader og ressurskrav	
<i>Kostnader og ressurskrav:</i> <i>- Innkjøpskostnad</i> <i>- Reagenser/driftskostnader</i> <i>- Ekstrakostnader?</i> <i>- Kostnad per analyse</i> <i>- Forventet levetid</i>	Ca. 80 000 kr per koffert. Evt. nye kabler. Usikker på pris. Levetid. Usikker. Etter 3 år: fått en del feil pga. bruk og svakheter i kabler (sannsynligvis).

<i>Hvor mye tid trengs til oppfølging?</i> <i>Behov for dedikert personell?</i>	Nesten ingenting. Programmeres før bruk. Kan bestemme hyppighet på logging som har innvirkning på levetid på batteri og loggtid.
<i>Miljø</i> - <i>Genereres det avfall?</i> - <i>Hvordan håndteres det?</i>	Nei.
Bruksområde	
<i>Eksempler på bruk andre steder/land</i>	
<i>Hva kan dette konkret benyttes til?</i>	Har også andre bruksområder utenfor det vi har brukt til. Kan stå fast på installasjon. F.eks. måle vannkvalitet på nyanlegg eller generell måling av vannkvalitet i et område i opptil 10 dager (begrensning i loggkapasitet).
Vurdering	
<i>Hvor fornøyd er dere med metoden?</i>	Fornøyd de årene vi har brukt det. Ikke robust nok til vårt bruk. Før: Fylt et glass for å se om man ser partikler med øyemål.
<i>Hva har dere funnet ut av?</i> <i>Eksempel på noe man ikke visste fra før?</i>	Redusert andel abonnentklager etter implementering. Er med på å dokumentere/synliggjøre at spyling er en god metode for å rengjøre ledningsnettet.
<i>Vil du anbefale metoden for andre?</i> - <i>Hvem?</i>	Ja.
Annet	
<i>Annen relevant informasjon</i>	

4.4 Trondheim kommune

Hva: Måling av turbiditet på ulike punkter i vannforsyningen.

Erfaring med overvåkning av vannkvalitet		
Kontaktinformasjon		
Aktør/kommune:	Trondheim kommune	
Kontaktperson:	Karen Hernes Buan	
E-post/telefon:	urf@trondheim.kommune.no	97599622
Generell informasjon		
Navn på instrument/metode:	Turbiditet.	
Leverandør/produzent:	Hach.	
Hva og hvordan fungerer det?	Måler turbiditeten på drikkevannet.	
Bakgrunn Hvorfor ble metoden/instrumentet tatt i bruk? Hvilke problemer ønsker man å løse/oppdage?		
Online (måler kontinuerlig) eller manuell (stikkprøver)?	Online.	
Hvor lenge har dere brukt metoden?		
Stadium: Utprøvningsfase eller inkludert i den daglige driften?	I den daglige drift.	
Metoden		
Hva kan metoden brukes til? - Konkretiser	Måling av turbiditet i vann.	
Hvilke begrensninger har den? - Hvilken informasjon gir metoden/instrumentet ikke?		
Prøver og resultater		
Parameter (hva måler den)?	Turbiditet, NTU.	
Deteksjonsgrense Hva er laveste og høyeste konsentrasjon instrumentet kan måle?		
Hvor ofte tas det prøver? (Hvor ofte kan det tas prøver?)	Online.	
Hvor tas det prøver?	Råvann på silanleggene, råvann på vannbehandlingsanlegg, rentvann vannbehandlingsanlegg, nedstrøms rentvanns-tunell, enkelte pumpestasjoner.	

Hva er vanlige målte verdier? Størrelsesorden/variasjon	
Hvordan håndteres data?	Data går inn i driftssystemet og overvåkes der. Følger med for å se evt. endringer.
Hvordan kan man feiltolke data?	
Hvordan håndteres høye/avvikende verdier?	
Grensesnitt mot andre metoder - Brukes informasjonen alene eller i sammenheng med andre resultater?	Sammenlignes med bla. temperatur, Bactosense, kimtall, ATP.
Hvilken rolle har de som følger opp prøvene?	Driftsoperatører.
Drift og vedlikehold	
Praktiske begrensninger: - Hvor den kan plasseres? - Krav til strøm? - Fuktighet/temperatur - Størrelse/plasskrav	Trenger liten plass. Må henges opp på vegg og må ha strøm og evt. nett-tilgang.
Hvor ofte må det: - Føres tilsyn - Kalibreres - Bytte kjemikalier/deler	Rengjøres og bytter kassett ved behov. Ligger inn som arbeidsordre.
Kompabilitet med SCADA-system	Ja
Kostnader og ressurskrav	
Kostnader og ressurskrav: - Innkjøpskostnad - Reagenser/driftskostnader - Ekstrakostnader? - Kostnad per analyse - Forventet levetid	Innkjøp: 80 000 kr. Kassett: 4000 kr.
Hvor mye tid trengs til oppfølging? Behov for dedikert personell?	Lite oppfølging, alle kan utføre rengjøring.
Miljø - Genereres det avfall? - Hvordan håndteres det?	Ingen/lite avfall.
Bruksområde	
Eksempler på bruk andre steder/land	
Hva kan dette konkret benyttes til?	

Vurdering	
Hvor fornøyd er dere med metoden?	Veldig fornøyd. Resultatene følges med på hver dag.
Hva har dere funnet ut av? Eksempel på noe man ikke visste fra før?	
Vil du anbefale metoden for andre? - Hvem?	Andre vannverk.
Annet	
Annen relevant informasjon	

Trykk

5.1 Bergen kommune

Hva: Online måling av vanntrykk.

Erfaring med overvåkning av vanntrykk		
Kontaktinformasjon		
Aktør/kommune:	Bergen Vann, Bergen kommune	
Kontaktperson:	Sam Alaya	
E-post/telefon:	Sam.alaya@bergen.kommune.no	
Generell informasjon		
Navn på instrument/metode:	Pipeminder One standard.	
Leverandør/produsent:	Eskeland Electronics/ Syrinix Ltd.	
Hva og hvordan fungerer det?	Online måling av vanntrykk. 15 stk. trykkloggere (Pipeminder One Stander) ble installert på et område med varierende vanntrykk. Trykkloggerne overvåker vanntrykket kontinuerlig og sender min, maks og gjennomsnitt minuttets verdier til en digital plattform. I tilfelle måleren oppdager en stor endring av trykket, logger måleren trykket hyppigere, 128 målinger per sekund, i 3 minutter og sender samlet datapakke over hendelsen. 	
Bakgrunn Hvorfor ble metoden/instrumentet tatt i bruk? Hvilke problemer ønsker man å løse/oppdage?	Årsaken til svikt i vannkvaliteten er ikke alltid identifiserbar. I 2022 har Bergen Vann en forurensning i et stort område uten å kunne identifisere kilde. Ingen av de tradisjonelle årsakene kan forklare hendelsen. Derfor ble disse loggerne kjøpt for å se om trykkstøt kan være årsaken til forurensningen. Utstyret skal brukes for å finne sammenhengen mellom trykkstøt og forurensning av vannet.	
Online (måler kontinuerlig) eller manuell (stikkprøver)?	Online.	
Hvor lenge har dere brukt metoden?	Siden våren 2023.	
Stadium: Utprøvningsfase eller inkludert i den daglige driften?	Utprøvningsfase i forbindelse med prosjekt, men skal flyttes til ulike områder av interesse.	

Metoden	
Hva kan metoden brukes til? - Konkretiser	Brukes på strategiske punkter på nettet for å avdekke trykkstøt. Tilhørende digitale plattform har verktøy for å identifisere kilde (triangulering) bak trykkstøt ved hjelp av ledningsdata og trykkmåling.
Hvilke begrensninger har den? - Hvilken informasjon gir metoden/instrumentet ikke?	Gir ikke informasjon om vannet er helsemessig trygt, men kan gi en indikasjon på at det har skjedd endringer på nettet. NB: Ingen endring i trykket må ikke mistolkes som at det ikke kan være forurensning til stede.
Prøver og resultater	
Deteksjonsgrense Hva er laveste og høyeste konsentrasjon instrumentet kan måle?	Til bruk på rentvann. Måleområde: 0- 20 bar $\pm 0,25$ %
Hvor ofte tas det prøver? (Hvor ofte kan det tas prøver?)	Kontinuerlig. Minuttsverdier logges i eget-system samt data trykkstøt-hendelse (millisekundsverdier).
Hvor tas det prøver?	Ved 15 punkter (hydranter og brannventiler, men kan monteres på andre steder som pumpestasjoner) på nettet.
Hva er vanlige målte verdier? Størrelsesorden/variasjon	Trykkvariasjon er normalt mellom dag og natt, men varierer ofte mellom 1-5 m hvis det ikke er en bevisst endring av driften.
Hvordan håndteres data?	Minuttsverdier logges i eget system samt data trykkstøt-hendelse (millisekundsverdier). Rådata som bearbeides i Excel og andre formater.
Hvordan kan man feiltolke data?	Feil input kan gi feil grunnlag til tolking.
Hvordan håndteres høye/avvikende verdier?	Det er ikke etablert alarmgrense. Verdiene sjekkes med jevne mellomrom som en del av prosjektet. Ellers brukes det i driften ved ulike hendelser.
Grensesnitt mot andre metoder - Brukes informasjonen alene eller i sammenheng med andre resultater?	Datamaterialet brukes i kombinasjon med andre driftsdata (vannføring, forsyningssituasjon) og andre parametere (flowcytometerdata og vannprøver) samt eksterne data som nedbør.
Hvilken rolle har de som følger opp prøvene?	FoU-ingeniør. Jobber fulltid med ulike vannkvalitetsprosjekter.
Drift og vedlikehold	
Praktiske begrensninger: - Hvor den kan plasseres? - Krav til strøm? - Fuktighet/temperatur - Størrelse/plasskrav	Se lenke til datablad. Utstyret er batteridrevet.
Hvor ofte må det: - Føres tilsyn - Kalibreres - Bytte kjemikalier/deler	Det føres tilsyn med ujevne mellomrom, ca. hver 3 mnd. Instrumentet autokalibreres. Krever lite vedlikehold.
Kompabilitet med SCADA-system?	Minuttsverdier kan overføres til SCADA-systemet, men når det gjelder sekund- og millisekundsverdier er det avhengig av om SCADA-system kan ta imot disse.

Kostnader og ressurskrav	
Kostnader og ressurskrav: - Innkjøpskostnad - Reagenser/driftskostnader - Ekstrakostnader? - Kostnad per analyse - Forventet levetid	Ca. 25 000 NOK i innkjøp 2023 per logger (batteri, sender og kabel). Årslisens for digitalplattform per logger er ca. 500 NOK.
Hvor mye tid trengs til oppfølging? Behov for dedikert personell?	Det krever noe tid for å tolke data. Ja. Krever noen som kan hydraulikken og nettet.
Miljø - Genereres det avfall? - Hvordan håndteres det?	Ingen avfall.
Bruksområde	
Eksempler på bruk andre steder/land	
Hva kan dette konkret benyttes til?	Trykkstøt kan være en parameter som kan indikere endringer/hendelser på distribusjonsnettet både vannkvalitet, svekkelse av levealder av ledningsnett og ledningsbrudd.
Vurdering	
Hvor fornøyd er dere med metoden?	Prosjektet er fortsatt i startfasen og det vil ta tid før vi får nok erfaring med utstyret.
Hva har dere funnet ut av? Eksempel på noe man ikke visste fra før?	Utstyret har vist en del trykkstøt som oppstår på nettet.
Vil du anbefale metoden for andre? - Hvem?	Det er lite fokus på trykkstøt pga. sin kompleksitet. Mangelfull kunnskap og utfordringen med å avdekke.
Annet	
Annen relevant informasjon	Link til datablad: https://www.syrinix.com/us/pipeminder-one-standard/#top

Oppsummering av fordeler og ulemper:

Fordeler	Ulemper
Lite vedlikehold Enkelt	

TIDLIGERE UTGITTE RAPPORTER

2023	278	LOSINOR - Lukt- og smaksproblemer i norsk drikkevann.
	C16	Stikkledninger i varerør
	277	Nasjonal strategi for behandling og disponering av avløpsslam
	276	Lange pumpeledninger for avløp på land og i sjø
2022	275	Mikroforurensninger og legemidler i avløpsvann
	274	Korrosjonsbeskyttelse – erfaring og ny kunnskap
	273	Veileder i samfunnsøkonomiske analyser for vannbransjen
	272	Sikker utforming av åpne overvannsløsninger
2021	271	Åpen fordrygning - Etablering av anlegg for permanente og midlertidige vannspeil med dybde over 20 cm
	C15	Digitalisering av VA-sektoren i Norge – status, utfordringer og behov
	270	Helsemessig sikker drift av vannledningsnett – prosedyrer og anbefalinger
	269	Risikovurdering av bergsprengte drikkevannsmagasin
2020	268	PFAS i råvann og drikkevann fra Norge
	267	Veiledning for utarbeidelse av kommunale forskrifter på avløpsområdet
	266	Vannbransjens erfaringer med kommune-sammenslåinger
	265	MEMiNOR: Membranfiltrering for fjerning av Naturlig Organisk Materiale i Nordiske drikkevann
2019	264	Alternativ til akkreditert prøvetaking
	263	Trykkoptimalisering på vannledningsnett – beste praksis
	B27	Forurensning i overvann fra urbane flater – vannmiljømål og rensetiltak
	262	Undersøkelser som grunnlag for valg av avløpsløsning
2018	261	Omfyllingsmasser
	260	Innovative anskaffelser i vannbransjen
	259	Kommunalt finansieringsbehov i vannbransjen 2021 – 2040
	258	Rekutteringsbehov i vannbransjen – status og prognoser 2020 – 2050
2017	257	Etablering og drift av mindre avløpsanlegg
	256	Veiledning for dimensjonering av avløpsrenseanlegg
	255	Bærekraftig fremmedvannsandel – Modell for vurdering av riktig nivå
	254	Forvaltning av nedbørsfelt for overflatevannkilder
2016	B26	Kunnskapsbehov innen overvann og klimatilpasning
	B25	Forprosjekt – Digital Vannstatistikk
	253	Mikroplast i avløpsvann, avløpsslam og jord
	252	Kummer – Klassifisering og tilstandsvurdering
2015	B24	Primærrens – Status og renseeffekter 10 år etter
	C14	Bærekraftig fornyelse av ledningsnett
	251	Klimagassutslipp, veiledning for vannbransjen
	250	Kommunens roller, rettigheter og fremgangsmåter i private utbyggingsområder
2014	249	Veiledning i nød vannforsyning
	B23	Evaluering av Norsk Vanns prosjektsystem
	248	Organic Pollutants in Norwegian Wastewater Sludge
	247	Beste praksis for HMS-arbeid i vannbransjen
2013	246	Regulering og organisering av vann- og avløpssektoren i utvalgte europeiske land
	245	Veiledning for tilstandsvurdering av infiltrasjonssystemer
	244	Veiledning i utarbeidelse av prøvetakingsplan for drikkevann
	243	Verdiforvaltning av vann- og avløpsinfrastruktur
2012	242	Praktiske råd ved valg av ledningsmateriale
	241	Mapping microplastic in Norwegian drinking water
	240	UV-desinfeksjon av drikkevann
	B22	Vann og avløp i arealplanlegging og byggesaker
2011	239	Beregning av bærekraftig lekkasjenivå
	238	Informasjonssikkerhet og skybaserte tjenester
	237	Dataflyt for GIS-informasjon i VA-prosjekter
	236	Akseptkriterier – Vurdering av nye og nyrenoverte avløpsledninger ved rørinspeksjon
2010	235	Dataflyt
	234	Rørinspeksjon av hovedledninger for vann og avløp
	233	Veiledning for bruk av betongrør og kummer
	232	Plastrør for vannforsyning og avløp: Hvordan skal vi oppnå minst 100 års levetid?
2009	231	NOMiNOR: Natural Organic Matter in drinking waters within the Nordic Region
	230	NOMiNOR: Naturlig Organisk Materiale i Nordiske drikkevann
	229	Sikring av vannforsyning mot tilsiktede uønskede hendelser
	228	Tilførsel av industrielt avløpsvann
2008	227	Beregning av forurensningsutslipp fra avløpsanlegg
	226	Tømming av slam
	225	Trykkavløp i spredtbygge og urbane strøk
	224	Eierskap til stikkledninger
2007	223	Finansieringsbehov i vannbransjen 2016 – 2040
	222	Dokumentasjon av utslipp fra avløpsnett
	221	Smart ledningsfornyelse – bruk av NoDig-metoder
	B21	Utvikling av studietilbud i bachelor i vann- og miljøteknikk
2006	B20	Norske tall for vannforbruk med fokus på husholdningsforbruk
	220	Kritiske ledninger for vann og avløp – klassifisering og tiltaksvurdering
	219	Eksempler på implementering av bærekraft i vannbransjen
	218	Vann til brannslukking og sprinkleranlegg
2005	217	Videreutvikling av beregningsmetodikk for gjenanskaffelsesverdi og investeringsbehov
	216	Tilbakestrømsikring – veiledning til vannverkseiere
	215	Forslag til ny sektorlov for vann tjenester
	214	Sikkerhetsstyring for vannbransjen
2004	213	Veiledning for dimensjonering av vannbehandlingsanlegg
	212	Erfaringer med ozon-biofiltrering for behandling av drikkevann
	211	Veiledning for praktisering av selvkost
	210	Veiledning i mikrobiell barriere analyse
2003	209	Sikring av kvalitet på ledningsanlegg
	208	Stikkledninger – ansvar og teknisk utforming
	207	Biostabilitet i drikkevannsnett
	206	Bærekraftig forvaltning av VA-tjenestene
2002	205	Åpne flomveger i bebygde områder
	204	Fra driftsassistanter til regionale vannassistanter
	203	Microbial barrier analysis (MBA) – a guideline
	202	Anskaffelser i vannbransjen
2001	201	Håndtering av overvann fra urbane veger
	200	Etablering av gode VA-løsninger i spredt bebyggelse
	199	Organiske miljøgifter i norsk avløpsslam – Resultater fra undersøkelsen i 2012/13
	198	Avløpsanlegg Vurdering av risiko for ytre miljø
2000	197	Veiledning i tilstandskartlegging og fornyelse av VA-transportsystemer
	196	Sikkerhet og sårbarhet i driftskontrollsystemer for VA-anlegg
	195	Varmpumper i drikkevannsforsyningssystem
	B19	Kranvannets kokebok for kommunikasjon
1999	B18	Investeringsbehov i vann- og avløpssektoren
	B17	Energiriktig design og prosjektering av avløpsrenseanlegg
	194	Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem
	193	Veiledning for valg av riktige sensorer og måleutstyr i VA-teknikken
1998	192	Rettigheter til uttak av vann til allmenn vannforsyning
	191	Klimatilpasningstiltak innen vann og avløp i kommunale planer
	190	Veiledning for drift av koaguleringsanlegg
	188	Omdømmeplattform og -strategi
1997	C8	Kommunal overtakelse av vannverk organisert som andelslag eller samvirkeforetak
	187	Veiledning i omorganisering av andelsvannverk til samvirkeforetak
	186	Fett i avløpsnett. Kartlegging og tiltaksforslag
	185	Tilsyn med utslipp fra avløpsanlegg innen kommunens myndighetsområde
1996	184	Veiledning om regulering av VA-tjenester til næringsmiddelindustri
	183	Prøvetaking av avløpsvann og slam
	182	Veiledning i bygging og drift av drikkevannsbasseng
	181	Fjernavlesning av vannmålere
1995	180	Veiledning i utarbeidelse av kommunale gebyrforskrifter for vann og avløp
	179	Veiledning for kartlegging av energibruk i VA-sektoren
	B16	Vannforskriftens økonomiske konsekvenser for kommunesektoren og avløpsanleggene
	C7	Forvaltningspraksis ved norsk damsikkerhet
1994	178	Grunnundersøkelser for infiltrasjon – mindre avløpsanlegg
	177	Drikkevannskvalitet og kommende utfordringer – problemoversikt og status
	176	Statlige gebyrer og avgifter på de kommunale VAR-tjenestene
	175	Vann og avløp for nye i bransjen – læreplan. E-læring og samlinger
1993	174	Hygienisering av avløpsslam. Langtidslagring og enkel rankekompostering. Resultater fra 3 års valideringstesting
	173	Veiledning for bruk av støpejernsrør
	B14	Klimatilpasningstiltak i VA-sektoren – forprosjekt
	B13	Silslam – mengder, behandlingsløsninger og bruksområder. Forprosjekt.
1992	172	Trykktap i avløpsnett
	171	Erfaringer med lekkasjekontroll
	170	Veileder til god desinfeksjonspraksis
	169	Optimal desinfeksjonspraksis fase 2
1991	168	Veiledning for dimensjonering av avløpsrenseanlegg
	167	Veiledning for kjøp av VA-kjemikalier
	166	Tiltak for å bedre fosforfjerningen på kjemiske renseanlegg
	165	Innsamlingsverktøy for vedlikeholdsdatabaser
1990	B12	Drikkevann i media
	164	Veiledning for UV-desinfeksjon av drikkevann
	163	Veiledning for innhenting og evaluering av tilbud på analyseoppdrag
	162	Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering
1989	161	Helsemessig sikkert vannledningsnett
	160	Driftserfaringer med membranfiltrering
	159	Håndbok i kildeopsporing i avløpssystemet
	158	Termoplastrør i Norge – før og nå
1988	B11	Økonomiske forhold i interkommunalt VA-samarbeid – praksis og kjøreregler
	B10	Vannkilden som hygienisk barriere
	B9	Utvikling av et system for spørreundersøkelser blant VA-kundene
	C6	I veien for hverandre – Samordning av rør og kabler i veigrunnen
1987	157	Organiske miljøgifter i norsk avløpsslam. Resultater fra undersøkelsen i 2006/07
	156	Veiledning for oljeutskilleranlegg
	155	Norm for merking og FDV-dokumentasjon i VA-sektoren
	154	Norm for tagkoding i VA-anlegg
1986	153	Norm for symboler i driftskontrollsystemer for VA-sektoren
	152	Veiledning for anskaffelse av driftskontrollsystemer i VA-sektoren
	151	Veiledning for vedlikeholdssystemer (FDV)
	150	Dataflyt – Klassifisering av avløpsledninger
1985	B8	Forprosjekt energinettverk i VA-sektoren
	B7	Sandnesmodellen. Eksempel på system for kommunikasjon og virksomhetsstyring



Norsk Vann BA, Vangsvegen 143, 2321 Hamar
Tlf: 62 55 30 30 E-post: post@norsk vann.no
www.norsk vann.no