

Vannkvalitetsproblemer og modellering av vannkvalitet i ledningsnett

Av Stian Bruaset

Stian Bruaset er sivilingeniør ansatt ved SINTEF Byggeforsk, avdeling Infrastruktur.

Innlegg på seminar i Norsk vannforening 19. oktober 2011

Sammendrag

I drikkevannsnettene oppstår vannkvalitetsproblemer som vekst av biofilm, korrosjon av støpejerns- og metallrør, samt misfarging av drikkevannet som fører til en stor andel av klager til vannselskapene [2]. Det er også en risiko for at mye av dette vannet kan inneholde bakterier eller patogener og dermed være helsefarlig hvis man drikker det. Problemene i ledningsnettene og hvordan man kan gå fram for å løse dem er illustrert i figur 4. Man kan velge å jobbe med å fjerne symptomene i ledningsnettene og/eller jobbe med å fjerne årsaken til problemene, som har sitt opphav i renseanlegget. På bakgrunn av problemene som er knyttet til prosesser i ledningsnettene og vannkvalitetsproblemer kan modellering være et nyttig verktøy for å optimalisere drift og vedlikehold, og dermed redusere problemene i ledningsnettene. Modellene for biofilm og korrosjon vil være nyttige verktøy i framtiden for å drive proaktiv tilnærming til

drift og vedlikehold av drikkevannsnett i den hensikt å beholde god vannkvalitet fram til forbrukerne.

I Nederland er det utført en studie [2] av hvor partiklene i ledningsnettene kommer fra. I hollandske ledningsnett, hvor det er svært lite støpejerns ledninger og mest PVC, er det likevel mye misfarging og turbiditet av vannet. Turbiditet tilføres her ledningsnettene fra renseanleggene. Med jevne mellomrom får man gjennombrudd i filterdriften hvor det deretter slippes på partikler til ledningsnettene. Får å ta kontroll over dette problemet har man i Nederland utviklet en konseptuell modell for å kartlegge problemene med partikler i ledningsnett.

Følgende modeller er tilgjengelige:

- **Biofilmmodell:** modellerer biofilmmasse på vegger og i vannfase.
- **Korrosjonsmodell:** modellerer korrosjonsprodukter på vegg og i vannfase.
- **Konseptuell modellering av spyleplaner.** Baserer seg på konseptet *Resuspension Potential Method*

Behovet for tiltak mot forringelse av vannkvaliteten og hvor de skal settes inn avdekkes ved modellanalyser og målinger på nettet, for eksempel ved å anvende den nederlandske RPM-metoden.

Innledning

Historisk sett har drikkevannsforsyning gjennom ledninger helt fram til forbrukere og husholdninger ført til forbedret hygiene og reduksjon av antall sykdomsutbrudd. Imidlertid har man erfart at ledningsnettet bidrar til vannbårne sykdommer gjennom innlekking av fremmedvann og forurensning av drikkevannet. [1] En EU studie kalt "Microrisk" undersøkte karakteren og omfanget av vannbårne sykdommer i Europa mellom 1990 og 2004. [2] Undersøkelsen rapporterte at omfanget og effekten av en sykdomshendelse knyttet til ledningssystemet er større enn en hendelse i vannbehandlingsanlegget.

I ledningsnettet oppstår vannkvalitetsproblemer som vekst av biofilm, korrosjon av støpejerns- og metall rør, samt misfarging av drikkevannet som fører til en stor andel av klager til de ansvarlige i kommunene [2].

På bakgrunn av problemene som er knyttet til prosesser i ledningsnettene og vannkvalitetsproblemene kan modellering være et nyttig verktøy for å optimalisere drift og vedlikehold og rehabilitering av drikkevannsnettene. Resultater fra modellering kan hjelpe beslutningstakere å velge rett sted for rengjøring eller velge ledning rett sted for rehabilitering.

Hvilke problemer finnes i drikkevannsnettet?

Figur 1 illustrerer noen av de vanlige problemene som oppstår i drikkevannsnettet; korrosjon av støpejerns- og stålrør, vekst av biofilm på veggene i ledningene og på korrosjonsproduktene, og misfarget vann ut til forbrukerne. Det er også en risiko for at mye av dette vannet kan inneholde bakterier eller patogener og dermed være helsefarlig hvis man drikker det.

En undersøkelse fra England [2] viser at misfarget vann er årsak til 34 % av alle klager et vannselskap mottar. Det vil derfor være viktig å avdekke hva som er årsakene til misfarging av vannet og finne ut hvorfor og hvordan problemet oppstår. Vannet som kommer ut fra renseanleggene er som oftest svært rent og har lite misfarging. Når vannet ankommer noen abonnenter er det derimot noen ganger misfarget og kan være brunt eller tilnærmet svart på farge, som kan ses av figur 1. Det skjer dermed noe i løpet av vannets gang i ledningsnettet. Når en abonnent klager på misfarget vann er dette en indikasjon på:

- Resuspendert materiale/partikler i ledningsnettet
- Hydraulisk hendelse; forstyrrelse/ endring av vannhastighet

En forstyrrelse og endring av vannhastigheten i ledningsnettet vil forårsake at sedimentert materiale vil resuspenderes og føres med vannstrømmen. Misfarget vann er derfor som regel ikke forårsaket av farge (humus), men at vannet inneholder resuspendert materiale. Når vann-



Figur 1. Vannkvalitetsproblemer i drikkevannsnettet [2], [3], [4].

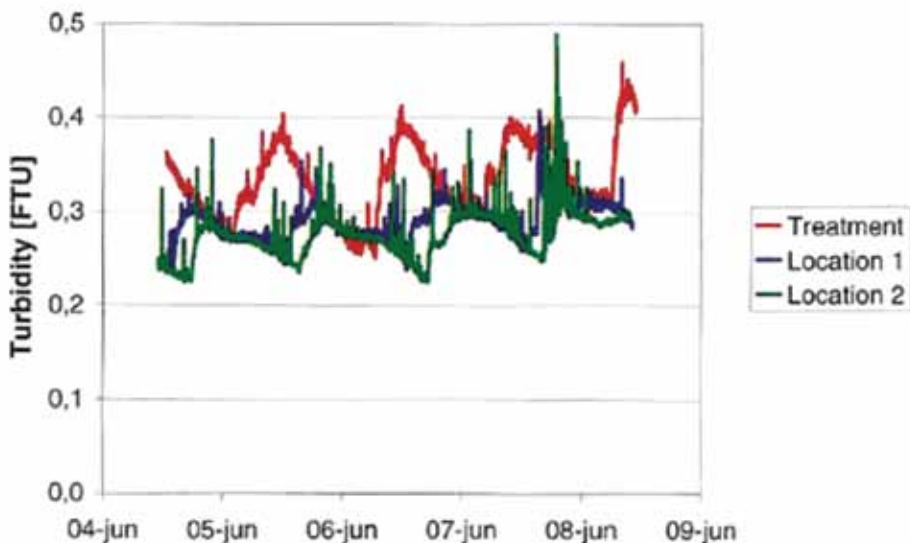
prøver fra slike hendelser får stå i en kort periode vil materialet sedimenteres og misfargingen forsvinne. Det sedimenterte materialet består for det meste av partikler (suspendert stoff og løst stoff) og korrosjonsprodukter. Bakterier som kommer fra biofilm i ledningsnettet kan også følge med det resuspenderte stoffet og dermed utgjøre en helsefare.

Hvor kommer partiklene fra? Koblingen vannbehandling – distribusjon

Vekst av biofilm og biomasse i ledningsnettet kan reduseres ved å fjerne de viktigste komponentene av NOM (Normalt Organisk Materiale) fra vannet under vannbehandlingen, og korrosjon av ledninger kan minimeres ved å utføre korrosjonskontroll av vannet før det slippes

ut på nettet. Men er det derimot grunnlag for å se vannbehandlingen og distribusjonsnettet under ett for å finne noe av årsaken til de store mengdene med partikler i ledningsnettene?

Tradisjonelt har korrosjon blitt beskyldt for å være hovedårsak til mesteparten av partikler i ledningsnettet. I Norge forårsakes nok partikler mye av korrosjon, men en studie fra Nederland [2] viser at en stor mengde partikler kan oppstå også i ledningsnett som inneholder svært lite av materialtyper som kan korrodere. Figur 2 viser målinger fra denne studien, hvor turbiditet er målt ut fra renseanlegget og i to påfølgende lokasjoner i ledningsnettet. Toppene av turbiditet som måles ut fra renseanlegget kan ses igjen i ledningsnettet. Avstanden mellom toppene som måles ved rense-



Figur 2. Måling av drikkevannets turbiditet (FTU) ved renseanlegg (Treatment) og ved to etterfølgende lokaliteter [2].

anlegg og ved de to lokasjonene i ledningsnett er gangtiden for vannet fra renseanlegget til målepunktene. Som kan ses av figur 2, så minker turbiditeten langs strømretningen (toppene av turbiditet blir mindre jo lenger fra renseanlegget man kommer), som forårsakes av at partikler sedimenterer i ledningene.

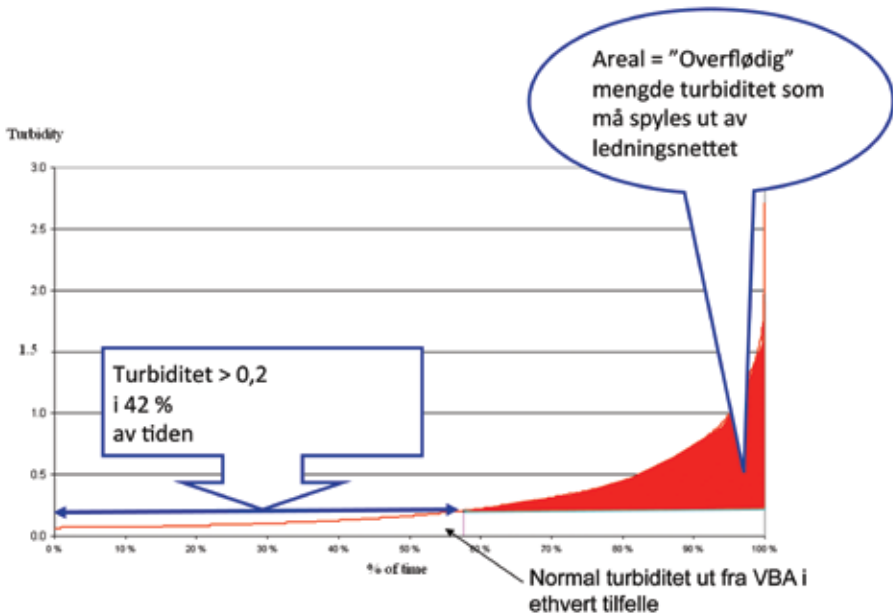
De store mengdene av partikler som måles ut fra renseanleggene forårsakes av gjennombrudd i filterdriften hvor en stor mengde av partikler slippes gjennom filteret. Syklusen på disse gjennombruddene i filterene kan ses av toppene av partikler i figur 2. Figur 3 viser eksempel på overflødig mengde av partikler (mengde partikler over hva som skal være normal turbiditet ut fra et renseanlegg, representert ved det merkede, røde arealet på figuren) som slippes ut på led-

ningsnett fra renseanlegget. Figuren viser et eksempel på et "worst case scenario" hvor turbiditeten ut fra renseanlegget er over 0.2 i 42 % av tiden. Alle disse partiklene legger seg som sedimenter i ledningene (som vist i figur 2) og resuspendes igjen ved en hydraulisk hendelse som skaper misfarget drikkevann hos abonnentene. Den overflødig mengden av partikler som slippes gjennom filterene må dermed spyles (eller på en annen måte fjernes) ut fra ledningsnett.

Konklusjon vannbehandling-distribusjon

Følgende konklusjoner kan dermed trekkes:

- I Nederland hvor det er svært lite støpejernsledninger og mest PVC, er det likevel mye misfarging og turbiditet



Figur 3. Eksempel på turbiditets-varighetskurve for partikler ut fra et filter i vannbehandlingen [5].

av vannet. Turbiditet tilføres ledningsnettet fra VBA.

- I Norge er det veldig mange støpejernsledninger som vil bidra med partikler via korrosjon. Men hvor stor andel av partiklene i nettet som kommer fra korrosjon og hvor mye som kommer fra vannbehandling er ennå ikke avklart.

Hvordan løse vannkvalitetsproblemene?

Problemene i ledningsnettet og hvordan man kan gå fram for å løse dem er illustrert i figur 4. Man kan velge å jobbe med å fjerne symptomene i ledningsnettet og/eller jobbe med å fjerne årsaken til problemene, som har sitt opphav i rens-

anlegget. Denne artikkelen fokuserer på modellering av vannkvaliteten i ledningsnettet som en metode for å redusere vannkvalitetsproblemene.

TECHNEAU modellering

TECHNEAU står for *Technology Enabled Access to safe drinking water*, og var et EU-prosjekt med flere europeiske partnere, herunder forskerinstitusjoner, universiteter og byer, som ble ferdig i 2010. SINTEF og NTNU var to av partnerne i prosjektet. Målet med TECHNEAU var å bidra til at vi kan få sikkert drikkevann fra kilde til tappekran. En arbeidspakke i forskningsprosjektet handlet om å innføre vannkvalitetsendringer i hydraulisk modellering for drikkevannsledninger,

Fjerning av symptomer vs. fjerning av årsak

<p>Problem: Partikler, misfarging av drikkevannet, biofilm vekst.</p>	<p>Tiltak A: fjerne symptomene. Rengjøring av nettet, modellere vannkvalitet i ledningene.</p>	<p>Tiltak B: Fjerne årsaken. Tiltak i VBA for å minske vekst og partikler på nettet</p>
		

"Kill the peaks"

Figur 4. Vannkvalitetsproblemer kan enten løses ved å fjerne symptomene i ledningsnettene eller å jobbe med å redusere årsakene, blant annet i renseanleggene.

for dermed å lage vannkvalitetsmodeller. Plattformen for vannkvalitetmodellering i Techneau er "sluttbrukerdrevet", det vil si den er fokusert på hvordan byer/kommuner kan ta i bruk modellene. Alle modellene kan brukes for å optimalisere drift og vedlikehold og rehabilitering av drikkevannsnettene.

Følgende modeller er tilgjengelige fra TECHNEAU-prosjektet:

- **Biofilmodell:** modellerer biofilmmasse på vegger og i vannfase.
- **Korrosjonsmodell:** modellerer korrosjonsprodukter på vegg og i vannfase.
- **Konseptuell modellering av spyleplaner.** Baserer seg på konseptet *Resuspension Potential Method*.

For å modellere vekst av biofilm og korrosjon i ledningsnettene anvendes Epanet og Epanet MSX (Multi Species Extension).

Med Epanet MSX kan man modellere flere typer prosesser samtidig. Modellene skrives i tekstfiler på et format gitt av Epanet MSX, som anvendes sammen med den hydrauliske modellen via Epanet til å beregne mengder av biomasse og korrosjon på ledningsveggene og i vannet. Modellene har tidligere blitt anvendt og kalibrert på ledningsnettverk, blant annet i Riga, Latvia. Teorien bak modellene baserer seg på langvarige labforsøk og feltnmålinger.

Modellenes tekstfiler kjøres i Epanet MSX hvor vannhastighet importeres fra den hydrauliske nettm modellen. I tekstfilen kan man bestemme forutsetninger for modelleringen, hvilke stoffer man vil modellere og hvilke konstanter, parametere og formler som skal være bestemmende for resultatet. Man kan også bestemme hvilke resultater man vil

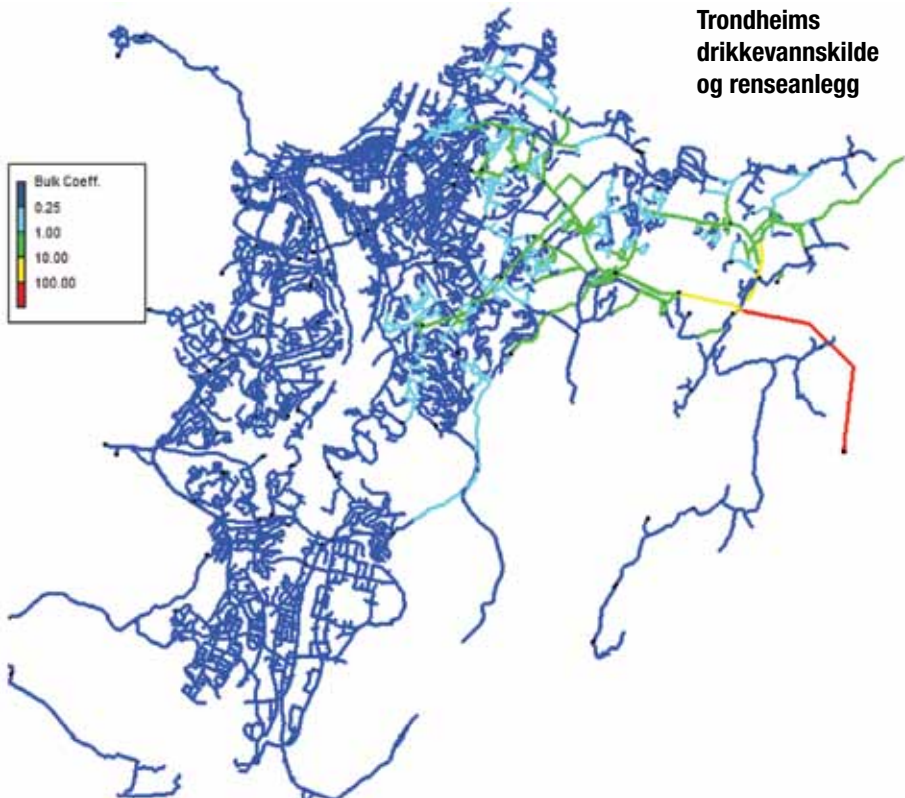
rapportere og i hvilken grad og utbredelse man ønsker å rapportere de. Resultatene fra modellene kan presenteres som:

- Tabeller
- Grafer
- GIS/kart
- Konsentrasjoner og parametere kan visualiseres i 3D, hvor resultater kobles opp mot kart i Google Earth.

Modellering av biofilm

Modellen bygger på teori om biofilm og vekst av biomasse på vegg og i vann. Biomassens vekst er styrt av substrat (orga-

nisk materiale), restklor, temperatur og initiale mengder av biomasse på vegg og i vann. Modellen viser potensialet for biomasse på vegg og i vann i ledningsnettet. Man kan bruke de initiale verdier (startverdier) man ønsker for mengde klor, substrat og biomasse på vegg og i vann etter vannbehandling. Vanntemperatur kan settes til den verdi man ønsker. Ut fra disse startverdier beregnes mengder av biomasse på vegg og i vann utover i nettet etter så lang modelleringstid man ønsker. I den aktuelle masteroppgave ble biofilm modellert for 1 og 4 uker for å se



Figur 5. Biomasse i vannet etter 4 uker med vekst. Enhet: celler/ml [6].

den progressive utvikling av biomasse i systemet.

I beregningene som er gjort for resultatene under er temperaturen i ledningsnettets satt til en gjennomsnittlig 9 grader Celsius for Trondheims vannforsyningsnett. Det er viktig å merke seg at alle verdier for biomasse i nettet er satt til 0 ved start av modellering for å se utviklingen over tid. Det betyr at det overalt i nettet utenom i den første ledningen etter renseanlegget ikke er noe biomasse ved start og det er derfor modellen viser lite vekst langt utover i nettet selv etter 4 uker. Hvis man ønsker å se hvordan modellen fungerer på et virkelig nett, bør man gjøre målinger på nettet og bruke disse som initiale verdier for alle ledninger i nettmodellen.

Modellen skiller mellom vekst i vann og på vegg. Etter fire ukers modellkjøring viser modellen at det er oppnådd høyere potensial for biomassevekst i vannet enn på veggen. Mye av grunnen til dette er at modellen beregner avrivning av biomasse fra vegg som går ut i vannet og øker konsentrasjonen av biomasse der.

Små lokale forhold så som vannalder og vannhastighet virker inn på vekst. Økt vannhastighet vil øke avrivning av biomasse fra vegger og øke tilførselen av substrat til bakteriene. Dermed øker vekst av biomasse både på vegg og i vann.

Kalibrering av biofilmmodellen gjøres ved å ta prøver av biofilm fra flere steder i drikkevannsnettet og ved å bruke spesielle sensorer (S:Can, en UV-sensor). Slike sensorer må plasseres flere steder i nettet for å måle AOC (og BDOC) over tid gjennom adsorbering av UV-lys.

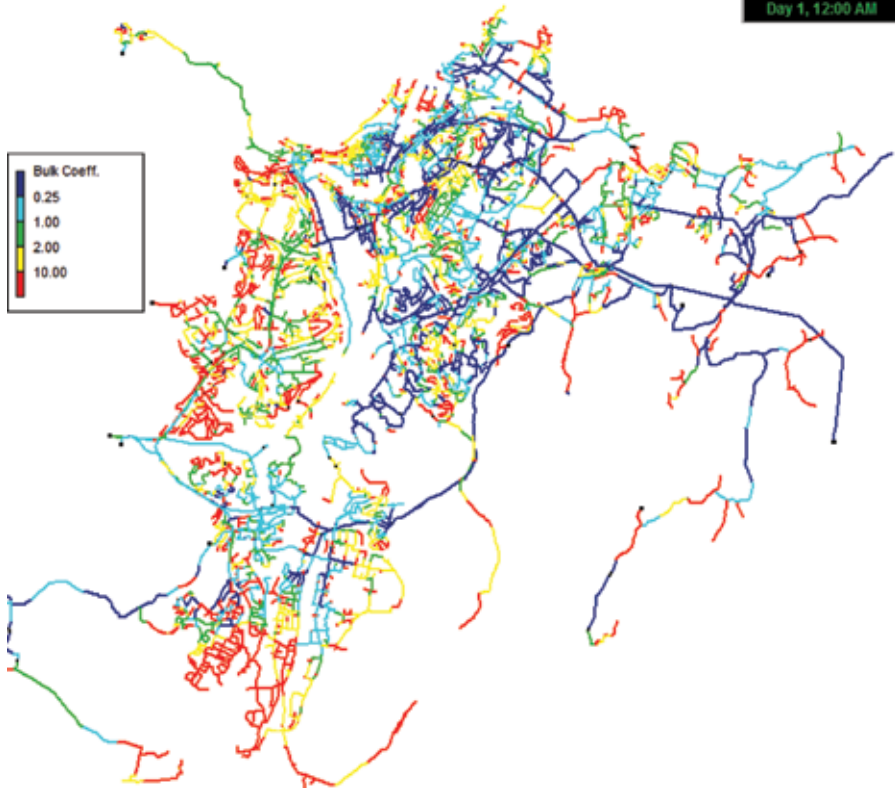
Modeller har blitt utviklet for å tolke de resultatene man får, ved å identifisere typer av organisk materiale og dermed finne mengder av forskjellig substrat i drikkevannet. De manuelle målingene på nettet gjøres for å finne biomasse, som er modellens responsparameter, på vegger og i vann og supplerer S:Can. Dermed kan biofilmmodellen kalibreres med de substratbiomasserelasjoner man finner.

Modellering av korrosjon [5]

I den utviklede modellen styres korrosjon av metalliske rør av vannets temperatur, pH, kalsium og alkalinitet. For å tilpasse modellen til lokale forhold må det utføres feltmålinger og kalibrering av modell.

Modellen sier at korrosjonen vil øke der hvor vanntemperaturen øker. Vann-temperatur vil øke med vannalder og i tråd med dette viser resultatet fra modellen at det vil forekomme mer korrosjon på vestkanten i byen hvor vannalderen er høyere. Store deler av vestkanten er farget rødt, det samme er mange endeledninger hvor vannalderen vil øke mye på grunn av lite vannforbruk. Det er potensial for lite korrosjon i de blå områdene, som for det meste er tettbefolkede områder med stort vannforbruk eller overføringsledninger med større hastighet. Også forhold, slik som overlapping mellom stillestående vann og vann i bevegelse, vil ha stor innvirkning på korrosjonsraten.

Korrosjonsmodellen ble prøvd ut på Trondheim sitt drikkevannsnett som et eksempel på bruk med følgende resultat:

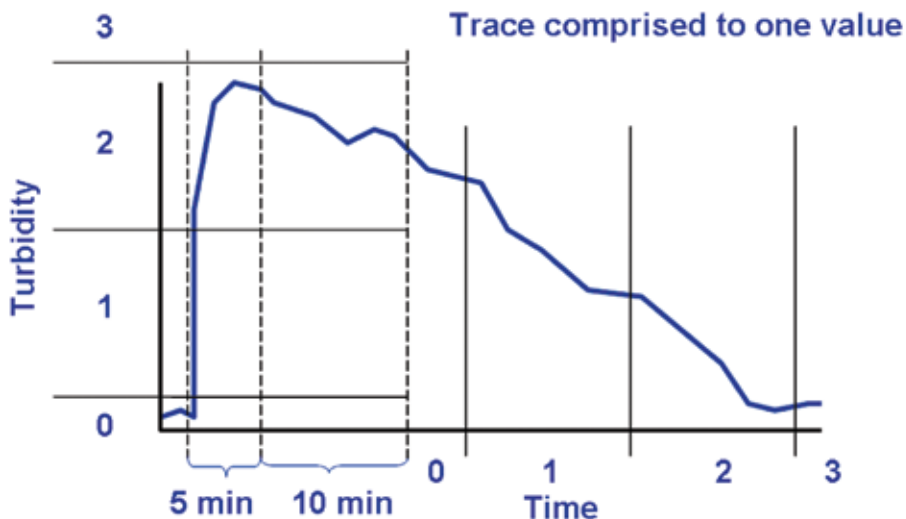


Figur 6. Eksempel på modellering av korrosjon i Trondheim. Figuren viser konsentrasjon av korrosjonsprodukter etter 1 uke med modellering. Enhet: mg/l [6].

Partikler i nettet

Den konseptuelle modellen for å finne potensialet for resuspensjon av partikler i nettet kalles for *Resuspension Potential Method* (RPM), en metode som er utviklet i Nederland. Der brukes konseptet daglig som en del av den faste rutinen for drift og vedlikehold av drikkevannsnettene. Metoden utføres ved å isolere et stykke med ledning (ved å stenge ventiler for alle stikkledninger) før man forstyrrer den hydrauliske situasjonen i en ledning med en økning av vannhastighet

på 0,35 m/s samtidig som man måler turbiditeten i en total varighet på fem til femten minutter. Økningen i vannhastighet vil føre til resuspensjon av sedimentene i ledningen. Målingene gir en kurve over turbiditeten, se figur 7, som sier noe om risiko/potensialet for resuspensjon og misfarging av drikkevannet. Misfarging er her forbundet med partikler/sedimenter i ledningen. Slike målinger utføres på utvalgte deler av ledningsnett og på grunnlag av disse målingene



Figur 7. Eksempel på en RPM-kurve.

rangeres behovet for rengjøring av de forskjellige stedene i drikkevannsnettet.

Maksverdi og gjennomsnittsverdi som måles og tiden det tar før turbiditeten er nede på initialt (normalt) nivå igjen er bestemmende for hvor alvorlig risikoen er for misfarging i ledningen. Hvis det måles over 10 NTU (farge kan ses ved ca. 10 NTU) er det nødvendig med rengjøring av ledning for å unngå misfarging av vannet ved økte vannhastigheter, noe som kan opptre ved ledningsbrudd eller bruk av vann til brannslukking eller annet stort vannuttak.

Når målingene er utført kan ledninger rangeres etter behov for rengjøring ved å modellere deler av eller hele ledningsnettet med multivariabel analyse eller med et program som kalles *Flushing Planner*. Dette programmet er blitt anvendt for daglig drift av drikkevannsnet-

tene i Nederland, men er ennå ikke i bruk i Norge.

Konklusjon

Dagens kommuner står overfor en stadig økende utfordring for å forhindre at drikkevannet vårt blir forurenset før det når forbrukerne. Dette kan forebygges ved å redusere årsaken til problemene i renseanleggene, å redusere symptomene i ledningsnettet eller ved å jobbe med begge deler. Ved å modellere vannkvaliteten i drikkevannsnettet kan man jobbe med å redusere symptomene i ledningsnettet ved å ta i bruk resultatene når man drifter ledningsnettet. Behovet for tiltak mot forringelse av vannkvaliteten og hvor de skal settes inn avdekkes ved modellanalyser og målinger på nettet, for eksempel ved å anvende den nederlandske RPM-metoden.

Modellene for biofilm og korrosjon vil kunne være nyttige verktøy i framtiden for å drive proaktiv tilnærming til drift og vedlikehold av drikkevannsnett i den hensikt å beholde god vannkvalitet fram til forbrukerne. For anvendelse av modellene må de kalibreres for det enkelte drikkevannsnett som utføres ved å ta målinger ute på nettet.

Referanser

1. Wricke, Burkhard et.al. 2007. *Particles in relation to water quality deterioration and problems in the network*. TECHNEAU rapport, nummer D 5.5.1 + D 5.5.2. WP 5.5.
2. Vreeburg, Jan. 2007; *Discoloration in drinking water systems: a particular approach*. Gildeprint BV Enschede. Dr. Thesis. ISBN: 978-90-74741-91-0
3. Andreas Korth, Daniel Schumann, Jan Vreeburg. *Deposit formation in drinking water pipes and optimized flushing intervals*. Presentation at TECHNEAU conference in Riga, November 2009.
4. Talis Juhna. *Challenges of water quality in water distribution system in Riga*. Presentation at TECHNEAU conference in Riga, November 2009.
5. Eikebrokk, Bjørnar. 2007. TECHNEAU report, Case Study Bergen.
6. Bruaset, Stian. 2008. *Optimisation of water network operation and maintenance*. Master Thesis at the Dept. of Hydraulic and Environmental Engineering, NTNU, 2008. Ligninger utviklet av Stein Wold Østerhus ved Sintef/NTNU i Trondheim.