

Under denne vignetten vil redaksjonskomiteen fremover gi plass for omtale av gjennomførte master- og doktorgradsarbeider i form av korte sammen- drag eller artikler avhengig av tilfanget av artikler for øvrig til den aktuelle utgaven av VANN.

Modellering av vannkvalitet i drikkevannsnettet

Av Stian Bruaset

Stian Bruaset er master i teknologi fra NTNU og arbeider nå ved SINTEF Byggforsk avdeling Vann og Miljø

Sammendrag

En masteroppgave på modellering av vannkvalitet i drikkevannsnett [3] har blitt utført våren 2008 på Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i samarbeid med Sintef. Oppgaven studerer årsakene til vannkvalitetssendringer i drikkevannsnettet og hvordan vi kan forhindre at dette forekommer. Resultatene fra oppgaven presenteres i denne artikkelen.

Gjennom EU så finansieres for tiden et prosjekt som analyserer vannbehandlingsprosesser, vannkvalitet og vannkvalitetssendringer fra behandlingsanlegg til forbruker og har som mål å finne best mulig praksis for drift og vedlikehold av anleggene. Prosjektet har fått navnet TECHNEAU som står for "Technology Enabled Universal Access to Safe

Water". SINTEF Byggforsk Vann og Miljø og NTNU i Trondheim er partnere i prosjektet som startet i januar 2006 og har tidsramme fram til desember 2010. TECHNEAU konkluderer så langt med at vannbårne sykdommer forbundet med ledningssystemene øker i forhold til de som er forbundet med vannbehandlingsanleggene. Dette skyldes blant annet økt kvalitet på vannbehandlingen.

For å løse problemene med økt grad av sykdomsutbrudd på grunn av prosesser i ledningsnettet har det blitt utviklet edb-modeller for biofilm og korrosjon i TECHNEAU. Disse kan modellere vekst og konsentrasjon av biomasse og korrosjon i ethvert drikkevannsnett.

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 ledningsnettene 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.

På bakgrunn av problemene som er knyttet til prosesser i og innlekking av fremmedvann til ledningsnett jobber flere kommuner med forebyggende (proaktiv) tilnærming for å unngå forurensning av ledningsnettene. Slike

Følgende tiltak kan gjøres mot forringelse av vannkvalitet:

1. Biofilm formasjon.

- a) Hold drikkevannstemperaturen lav. Dette kan gjøres ved å forkorte vannets oppholdstid i nettet.
- b) Fjern organisk materiale i vannbehandlingsprosessen.
- c) Restklor kan brukes for å drepe resterende bakterier i nettet.
- d) Spyl og rengjør nettet for å fjerne biofilmer.

2. Korrosjon.

- a) Øke pH, alkaliniteten og/eller kalsium mengden til vannet – dette reduserer vannets korrosivitet.
- b) Nye metalliske rør må korrosjonsbeskyttes.
- c) Pass på at oppholdstiden i rør foret med aluminatsement ikke er for lang fordi dette kan løse ut alumina til vannet.
- d) Skift ut stikkledninger av kobber med plastrør.
- e) Det er påvist at epoxy og PVC løser ut organisk materiale til vannet, pass derfor på ved bruk av disse materialer. [3]
- f) Økt temperatur øker korrosjon. Temperatur er avhengig av oppholdstiden i nettet. Hvis oppholdstiden kan minkes, vil temperatur og dermed korrosjon minke.

3. Sedimentering og resuspensjon av partikler.

- a) Behandle råvannet i vannbehandlingsanleggene med koagulering (og eventuelt flokkulering) før filtrering. Dette vil drastisk minske mengde partikler og fare for misfarging av vannet.
- b) Bruk Resuspension Potential Method (RPM) for på best mulig måte å rense ledningsnettene for partikler. Metoden forklares senere.
- c) Bruk hydraulisk modell for å identifisere steder med liten vannhastighet, endeledninger og andre steder hvor det er lav transporthastighet. Det er disse stedene hvor sannsynligheten for sedimentering av partikler og fare for misfarging av vannet er størst.

4. Innlekking.

- a) Hindre lavt internt trykk i drikkevannsnettet til alle tidspunkt.
- b) Forhindre hull og åpninger i ledningene (korrosjonshull, utette skjøter og flenser).

Faktaboks: Tiltak for å opprettholde god vannkvalitet

tiltak kan omfatte modellering av faren for innsuging av forurenset vann i ledningsnett og av prosesser i ledningsnettet som biofilmdannelse, korrosjon og transport av partikler. Slike løsninger presenteres i denne artikkelen.

Tiltak mot dårlig vannkvalitet

Hvordan løse problemer med forringing av vannkvalitet

Når vannet går fra vannbehandlingsanlegg til forbrukerne blir kvaliteten endret på grunn av biofilmdannelse i nettet, korrosjon av metalliske rør, sedimentering og resuspensjon av partikler og innlekking av fremmedvann og forurensning. I masteroppgaven [3] er hensiktsmessige tiltak for å opprettholde en god vannkvalitet presentert. Disse tiltakene er gjengitt i etterfølgende faktaboks. Samtidig vil det være ønskelig å vite hvor i ledningsnett man har størst problemer med biofilm, korrosjon og partikler. Til dette er det utviklet modeller gjennom TECHNEAU.

Modellering

De TECHNEAU-utviklede edb-modellene for biofilm og korrosjon modellerer henholdsvis vekst av biomasse på rørvegger og i vann og utløsning av korrosjonsprodukter fra metalliske rør til vannet. Biofilm- og korrosjonsmodellen er programmert i to tekstfiler hvor innholdet er formler og betingelser for at biologisk vekst eller korrosjonsprodukter skal opptre i ledningsnettet. Modellene er laget slik at de hver for seg kan kjøres sammen

med en hydraulisk nettmodell for å modellere det aktuelle nettet. US EPA har laget en software-støtte til Epanet (program som modellerer hydrauliske nett) som på engelsk heter "Multi Species Extension", forkortet kalt Epanet MSX (se <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet.html>). Epanet MSX er i stand til å modellere flere typer stoff i vannet samtidig, og det er dette programmet som kobler modellen i tekstfilen til den hydrauliske nettmodellen. For at Epanet MSX skal fungere, må tekstfilen som modellen er bygget opp av, settes opp i faste former og kjøres i MSDOS eller lignende.

En partikkelmodell er ikke blitt implementert i Epanet MSX enda, men det jobbes med å få dette gjort. Partikkelmodelleringen baserer seg derfor på en fysisk modell som er blitt utviklet av KIWA i Nederland.

Som et eksempel på bruk av modellene har vi gjort beregninger for drikkevannsnett i Trondheim. Merk at dette er eksempler og at modellene for biofilm og korrosjon ikke har blitt kalibrert under oppgaven. Begge modeller må verifiseres/kalibreres mot målte data før de kan brukes som grunnlag for faktisk vekst i nettet. Resultatene man får ved kjøring er derimot interessante opplysninger om mulige trender for biovekst og korrosjon i Trondheims drikkevannsnett.

Modellering av biofilm [4]

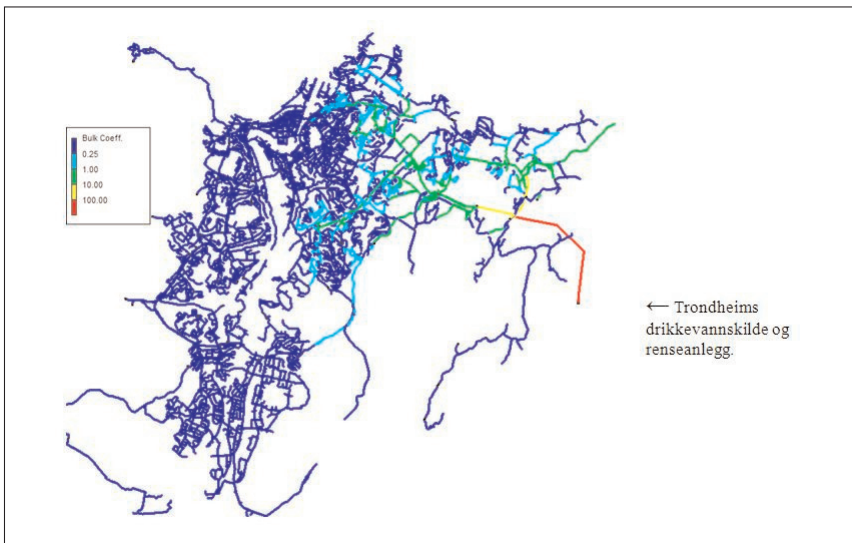
Modellen bygger på teori om biofilm og vekst av biomasse på vegg og i vann. Biomassens vekst er styrt av substrat (organisk materiale), restklor, temperatur og initiale mengder av bio-

masse på vegg og i vann. Modellen viser potensialet for biomasse på vegg og i vann i ledningsnett. 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 den progressive utvikling av biomasse i systemet.

Biofilmmodellens tekstfil kan kjøres i Epanet MSX hvor vannhastighet importeres fra den hydrauliske nettmodellen og brukes i vannkvalitetsberegningene. I filen 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.

I beregningene som er gjort for resultatene under er temperaturen i ledningsnett 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.



Figur 1. Biomasse i vannet etter 4 uker med vekst. Enhet: celler/ml

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 biofilm modell

Kalibrering av modellen gjøres ved å ta prøver av biofilm fra flere steder i drikkevannsnettet og ved å bruke spesielle sensorer (S:Can, en UV-sensor). [3] 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 respons parameter, på vegger og i vann og supplerer S::can. Dermed kan biofilm modellen kalibreres med de substrat-biomasse relasjoner man finner.

Modellering av korrosjon [5]

I den utviklede modellen styres korrosjon av metalliske rør i et nett av vannets temperatur, pH, kalsium og alkalinitet. Modellen er basert på vannkvaliteten i Trondheim og er derfor enda ikke generelt anvendbar. For at modellen skal kunne brukes andre steder må den gjøres generell eller så må konstantene tilpasses det enkelte vann. I framtiden vil det bli jobbet for å gjøre modellen universelt anvendbar.

Modellen for utløsning av korrosjonsprodukter fra rørvegger er basert på følgende to ligninger som er utviklet ved Sintef/NTNU i Trondheim [5]:

Lav vannhastighet (≤ 0.1 m/s):

$$\text{Korrosjonsrate} = 0.1 * T / (\text{pH} * \text{Ca}^{0.3} * \text{Alk}^{0.4})$$

Høy vannhastighet (> 0.1 m/s):

$$\text{Korrosjonsrate} = 1.5 * T / (\text{pH}^2 * \text{Ca}^{0.6} * \text{Alk}^{0.8})$$

Hvor:

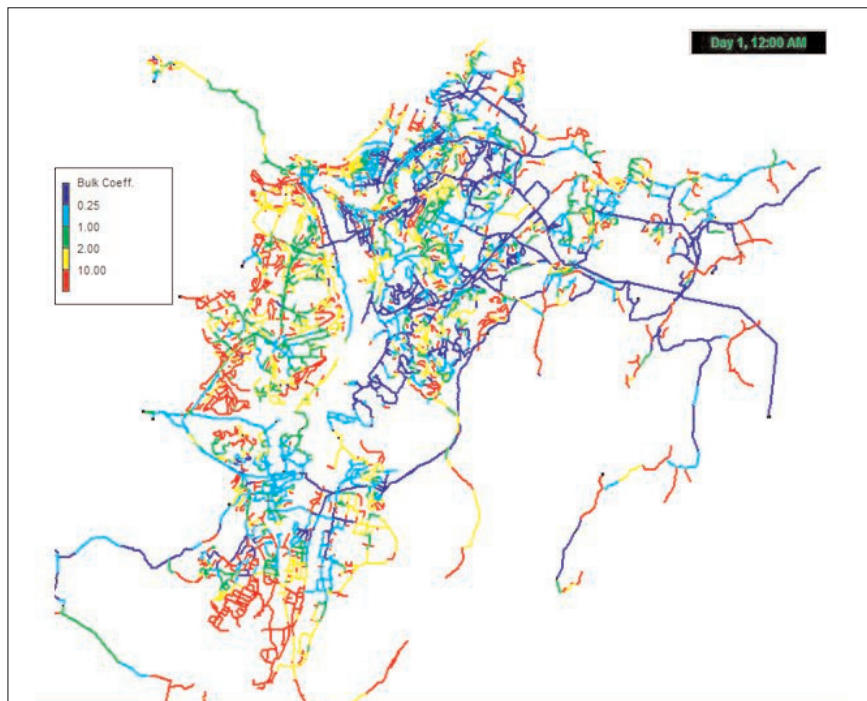
Korrosjonsraten er gitt i mm/år

T = temperatur [grader celsius]

Ca = kalsium konsentrasjon [mg Ca/L]

Alk = alkalinitet [mmole/L]

Også korrosjonsmodellen ble prøvd ut på Trondheims drikkevannsnett som et eksempel på bruk, figur 2.



Figur 2. Eksempel på modellering av korrosjon i Trondheim. Figuren viser konsentrasjon av korrosjonsprodukter etter 1 uke med modellering. Enhet: mg/l.

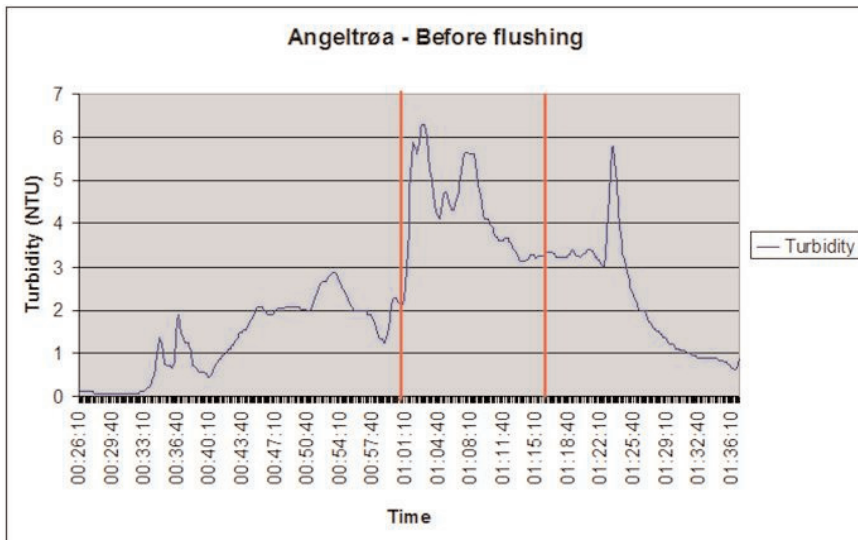
Modellen sier at korrosjonen vil øke der hvor vanntemperaturen øker. Vanntemperatur vil øke med vannalder og i tråd med dette viser resultatet fra modellen at det vil forekomme mer korrosjon på vestkanten i byen hvor vannalderen er større. Store deler av vestkanten er farget rødt, det samme er mange 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.

Partikler i nettet

Den fysiske modellen for å finne potensialet for resuspensjon av partikler i nettet kalles for Resuspension Potential Method (RPM). Metoden utføres ved å forstyrre vannet i en ledning med en økning av vannhastighet på 0,35 m/s samtidig som man måler turbiditeten i en total varighet på femten minutter. Målingene gir en kurve over turbiditeten som sier noe om potensialet for resuspensjon og misfarging av drikkevannet. Slike målinger gjøres over hele byen og på grunnlag av disse målingene rangeres behovet for spyling og rengjøring av de forskjellige stedene i nettverket.

I forbindelse med oppgaven ble det utført RPM spyling av en drikkevannsledning på Angeltrøa i Trondheim. Denne ledningen ble spylt ren for ett år siden som betyr at all turbiditet som vi målte nå hadde blitt

bygget opp i løpet av det siste året. Figur 3 viser resultatet for måling av turbiditet (med enhet NTU), dvs. mengde partikler som har bygget seg opp i ledningen gjennom ett år.



Figur 3. RPM utført på Angeltrøa. [3]

Området mellom de røde strekene markerer den tidsperioden hvor den hydrauliske forstyrrelsen på 0,35 m/s ble initiert. Tidsrommet mellom strekene er 15 minutter, som er tiden det tar å utføre en RPM-spyling. Målingen viser at det ikke er noen stor fare for misfarging av vannet. Maksimum og gjennomsnittlig turbiditet sier noe om faren for misfarging. Hvis det måles over 10 NTU

(farge kan sees ved ca. 10 NTU) er det nødvendig med rengjøring av ledning for å unngå farging av vannet ved økte vannhastigheter, noe som kan opptre ved ledningsbrudd eller bruk av vann til brannslukking. Rengjøringen utføres ved at man spylar ledningen med en vannhastighet på 1,5 m/s helt til man måler en jevn, lav turbiditet.

Konklusjon

Dagens kommuner står ovenfor en utfordring ved å forhindre at drikkevannet vårt blir forurenset før det når forbrukerne. Dette kan forebygges ved tiltak mot biofilmvekst, korrosjon og partikkeltransport og innlekking av forurensninger. Behovet for slike tiltak og hvor de skal settes inn kan avdekkes ved modellanalyser og målinger på nettet, for eksempel den nederlandske RPM-metoden.

Modeller for biofilm og korrosjon er fortsatt under utvikling, men de tester som er gjort viser at modellene vil kunne vise trender for vekst i nettet og konsentrasjon i drikkevannet. Disse modellene vil kunne være nyttige verktøy i framtiden for å drive proaktiv tilnærming i den hensikt å beholde god vannkvalitet fram til forbrukerne. Det vil være behov for videre utvikling av korrosjonsmodell, samt kalibrering av modeller mot virkelige drikkevannsnett for på se hvor nøyaktige de kan være.

Takk til bidragsytere

Forfatteren ønsker å takke veiledere under skriving av masteroppgave; Sveinung Sægrov, forskningsleder ved SINTEF og Professor II ved NTNU og Ingrid Selseth, senioringeniør ved SINTEF.

Takk også til:

- Trondheim kommune for hjelp til utføring av RPM spyling og for tillatelse til å bruke deres drikkevannsnett under modellering.
- Stein W Østerhus, seniorforsker ved SINTEF

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] Sægrov, Sveinung et.al. 2006. TECHNEAU, Evaluation report on operational methods and maintenance schemes- Applied in praxis and compared to best practice. TECHNEAU rapport, nummer D 5.6.1 + D 5.6.2, WP 5.6.

[3] 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.

[4] Juhna, Talis. Rapport under EU prosjektet TECHNEAU er under utarbeidelse.

[5] Østerhus, Stein Wold. Rapport under EU prosjektet TECHNEAU er under utvikling.