

Sluttrapport

*Drikkevannsforskning
mot år 2000*

Området for naturvitenskap og teknologi
Norges forskningsråd



Norges
forskningsråd

Forord

VED INNGANGEN TIL 1990-TALLET ble det rettet økt oppmerksomhet mot drikkevannet vårt. Da hadde studier av norske vannverk vist at et betydelig antall av dem (ca. 1000 av i alt ca. 1500) hadde behov for oppgradering. Disse vannverkene forsynte om lag 1,3 millioner mennesker og en rekke næringsmiddelbedrifter. Resultatet var nedslående, men ikke overraskende for dem som kjente til norsk drikkevannforsyning. Omtrent samtidig fikk vi en ny drikkevannforskrift og vi fikk forpliktelser gjennom EØS-avtalen som måtte etterleves. Disse faktorene danner sammen bakgrunnen for statens "Program for vannforsyning" og det tilhørende Norges forskningsråd-koordinerte forskningsprogrammet "Drikkevannsforskning mot år 2000" som vi presenterer litt av i denne sluttrapporten.

Forskningsprogrammet fikk som mål å sikre kunnskapsnivået i Norge, slik at investeringsprogrammet i forbindelse med en opprusting av vannverkene kunne ta hensyn til absolutt nyeste kunnskap.

I de senere årene er det reist spørsmål omkring mye av det som tidligere har vært etablert kunnskap om drikkevann. Klor, aluminium og asbest - tre stoffer som har vært en velsignelse for å oppnå god vannforsyning - er vi like

fornøyd med dem i dag? Andre har stilt spørsmål ved organismer - virus og parasitter - som vi ikke har kunnet analysere godt nok tidligere. Noen spørsmål kom tidsnok til at de kunne tas med i dette forskningsprogrammet, mens andre dessverre kom for sent. Andre igjen er blitt godt nok besvart enten i utlandet eller fra norsk hold utenom "Drikkevannsforskning mot år 2000".

Hovedspørsmålet vi har stilt oss kan kanskje sammenfattes slik: Hvordan sikre en god og trygg kvalitet på vannet i vannkilden, og beholde en god og sikker kvalitet under alle omstendigheter helt fram til drikkevannet kommer ut av kranen hos forbrukeren? Og hvordan får vi dette til uten at drikkevannet koster stort mer enn i dag?

I denne sluttrapporten etter "Drikkevannsforskning mot år 2000" presenterer vi nærmere fem av de i alt 22 forskningsprosjektene som er blitt finansiert gjennom programmet.

Truls Krogh

(Programstyreleder)

INNHold

Drikkevann i perspektiv	3
Norsk drikkevann	4
Programstyre og programsekretariat	5

5 AV PROSJEKTENE

Drikkevann mot år 2000	5
Påvisning av patogene bakterier gjennom PCR-metoden	6
Mer kunnskap om membranfiltrering	8
Rekeskall brukt til vannrensing	9
Raskere svar om bakterier	10
Optimal fornyelse av vannforsyningsnettet	11

Drikkevannsforskning mot år 2000

Området for naturvitenskap og teknologi

Norges forskningsråd
Oslo, desember 1999

Tekstbearbeidelse og produksjon: Tekst På Trykk v/ Bård Amundsen
Design: TCo InformasjonsDesign
Trykk: Grønlands Grafiske - opplag: 2000.
ISBN 82-12-01354-5

Copyright © Norges forskningsråd 1999

Norges forskningsråd
Postboks 2700 St. Hanshaugen
0131 OSLO

Telefon: 22 03 70 00
Telefaks: 22 03 70 01
Hjemmeside:
<http://www.forskningsradet.no/>

Fotos s. 3,5,6, 8 og 9: Christen Ræstad

Drikkevann i perspektiv

SELV OM VANN er en fornybar ressurs, er tilgangen til denne ressursen svært ujevnt fordelt blant jordens befolkning. Foruten å være årsak til kriger og sterke nasjonale motsetninger, vil manglende tilgang på rent ferskvann i stadig sterkere grad være begrensende for menneskets fortsatte utvikling på jorden.



DET ANTAS AT vannbårne sykdommer hvert år forårsaker mer enn 4.5 millioner dødsfall, forhold som i hovedsak skyldes manglende vanntilgang, dårlig vannkvalitet og dårlige sanitære forhold. Dette tilsvarer en full jumbojet med over 500 passasjerer som styrter uten overlevende hver eneste time året rundt.

Mens problemene i u-land i all hovedsak er relatert til dårlige hygieniske forhold og vannbårne infeksjoner, er dette forhold vi stort sett har kontroll over i i-landet Norge. Her blir fokus i større grad rettet mot forhold som organisering av vannforsyningen, kildebeskyttelse, kjente og ukjente desinfeksjonsbiprodukter (DBP – se mer på s. 4), "nye" desinfeksjonsresistente mikroorganismer og indikatorer for slike, alternative former for desinfeksjon, utvikling av metoder for måling/kontroll/begrensning av biologisk vekst i ledningsnett, samt tekniske og økonomiske tiltak for å optimalisere og effektivisere det totale vannforsyningssystemet.

I et internasjonalt perspektiv er vi i Norge begunstiget med en enorm tilgang på ferskvann. Normalt er det norske vannet som råvare betraktet også av god kvalitet, og 85 % av drikkevannet forsynes fra overflatevannkilder. I mange EU-land dominerer grunnvannet, og slik sett hadde nok det amerikanske regelverket vært

bedre tilpasset norske forhold enn de mer grunnvannsorienterte EU-direktivene vi nå er underlagt. Den gode kvaliteten på råvannet har imidlertid utvilsomt fungert som en sovepute for utviklingen av en tilfredsstillende vannforsyning her til lands.

Våre FoU-aktiviteter er primært rettet mot å sikre en stabil tilgang på vann av god hygienisk og bruksmessig kvalitet, der kontroll av naturlig organisk materiale (NOM – se mer på s. 4) - også kalt "humus", hygiene (mikroorganismer) og korrosivitet har vært viktige forskningsfelter. Selv om de klimatiske forhold er gunstige i vår del av verden i forhold til utbredelsen av vannbårne sykdommer, har den økte reisevirksomheten og internasjonaliseringen av samfunnet økt faren for at også vi her i Norge kan få økende problemer med patogene organismer som kan spres over kontinenter i løpet av få dager. Dette er en utvikling som utvilsomt vil forsterkes.

Videre utgjør strukturen i norsk vannforsyning med mange små og mellomstore vannverk i seg selv en utfordring. Selv om mange nok anser en NOM-fjerning slik vi har i Norge for en "avansert" vannbehandling, er det et faktum at dette fremstår mer som kun en del av forbedringen i mange land der råvannet har en ringere kvalitet og der man må anvende svært omfattende rensiltak. På

den annen side kan man oppleve at vannbehandlingsprosesser som er tradisjonelle i Norge, eksempelvis koagulering-filtrering optimalisert primært for NOM-fjerning, nå opplever en voldsom fokusering andre steder i verden. I USA og flere andre land har dette fått betegnelsen "enhanced coagulation", og i mange land blir vannbehandlingen nå justert i retning av optimal humusfjerning slik vi allerede driver i Norge. Dette skjer i første rekke for å begrense dannelsen av DBP. Dette har igjen ført til en betydelig interesse fra utlandet for norske løsninger for NOM-fjerning.

Selv om utfordringene på drikkevannssektoren er store og varierte, vil de primære forskningsbehov knyttet til vannforsyning i Norge og den vestlige verden for øvrig normalt være knyttet til følgende forhold:

- Vannbehandling

Vannbehandlingsløsninger vurderes i stadig sterkere grad ut fra analyser av det totale vannforsyningssystemet, der også forhold knyttet til vannkilde, råvann og distribusjon trekkes inn. Det fokuseres i stadig sterkere grad på desinfeksjonsmidler, kjente og ukjente DBP, hygienisk sikring, interaksjoner mellom vann og ledningsmaterialer i form av korrosjon og stoffutløsning, biologisk vekst, etc. Matematiske modeller og ekspertsystemer vil ventelig bli stadig viktigere verktøy i forbindelse med prosessvalg og optimaliseringstiltak.

I Norge har vi investert betydelige summer i vannforsyningen de senere årene, blant annet med en rekke nye og oppgraderte anlegg for NOM-fjerning og desinfeksjon. Men fortsatt gjenstår mye FoU knyttet til utvikling av bedre kriterier for valg av behandlingsløsninger basert på en grundig karakterisering av råvann og forsyningssystem (ledningsmaterialer). Dette gjelder bl.a. forhold knyttet til kontroll av mikroorganismer, korrosjon og biologisk vekst, og fjerning av NOM, hvis egenskaper og sammensetning varierer betydelig fra vannkilde til vannkilde.

Svært mange norske vannkilder har en kvalitet og et NOM-innhold som i mengde og sammensetning varierer svært over

året. Siden kvaliteten på råvannet er av avgjørende betydning for optimalisering- en av ulike behandlingsprosesser, er det viktig å dokumentere hvordan råvannskvaliteten påvirker de optimale prosess- betingelser. Det finnes mange eksempler på at optimal behandling av typisk norsk, bløtt vann med lav alkalitet, pH og turbiditet kan avvike betydelig fra optimale betingelser for behandling av typisk mellom-europeisk hardt vann med høy alkalitet, pH og turbiditet. Dette har i enkelte tilfeller medført uheldige og feilaktige prosessvalg, noe som illustrerer viktigheten av å opprettholde en egen norsk FoU-aktivitet på dette feltet.

- Kontroll av NOM og DBP

Motivasjonen for å fjerne NOM fra vann er å redusere ulemper knyttet til dannelse av kjente og ukjente desinfeksjonsbiprodukter (DBP), å redusere korrosjon som følge av økt NOM-innhold og lokal beleggdannelse, å redusere biologisk vekst i ledningsnett, å hindre økt forbruk av desinfeksjonsmiddel og redusert effektivitet av desinfeksjonsprosesser, å hindre økt

eksponering for ulike mikroforurensning- er knyttet til humusmolekylet, samt å redusere andre bruksmessige og økonomiske ulemper knyttet til høy farge og høyt NOM-innhold i vannet.

I det nye amerikanske lovverket (1998) er det interessant å legge merke til at føre- var-prinsippet er lagt til grunn hva gjelder "known and unknown DBP". Mye er fortsatt ukjent hva gjelder dannelse, identifi- kasjon og ikke minst helsemessig relevans av ulike DBP. Det er også behov for en bedre kartlegging av de helsemessige effekter av langtidseksponering overfor såvel DBP som ulike typer mikroforuren- ninger. Klor som desinfeksjonsmiddel kan absolutt ikke sies å være på vei ut, men det kan registreres en økende inter- esse for alternative desinfeksjonsløsninger.

- Sikring av vannkilder

Bedre beskyttelse av drikkevannskilder og strengere kontroll av aktiviteter i ned- slagsfeltet blir fokusert i mange land. Sikkerhets-, sårbarhets- og risikoanalyser vil bli mer sentrale verktøy i all vannfor- syning og -forvaltning.

- Hygienisk sikkerhet

Parasittene *Cryptosporidium* og *Giardia* er er nylig påvist også i norske drikke- vannskilder. For å opprettholde en dob- belt hygienisk sikring mot slike desinfek- sjonsresistente parasitter, er det påkrevet at behandlingsprosessen inneholder minst en eller to barrierer. Siden patogenkon- troll og turbiditetsreduksjon synes godt korrelerte, vil effektiv partikkelfjerning stå sentralt i slik patogenkontroll. Av den grunn er membranfiltrering, effektiv koagulering- og filtrering, partikkelka- rakterisering og kontinuerlig turbiditets- og partikkelmåling hete FoU-temaer i in- ternasjonal vannforsyning.

Utvikling av bedre indikatorer for hy- gienisk sikkert vann og "nye" problemor- ganismer, bedre verktøy for deteksjon og verifisering av vannbårne sykdommer og for vurdering av hygieniske barriereeffek- ter, samt bedre prøvetakings- og kontroll- rutiner også på nettet, er andre sentrale FoU-oppgaver.

Kontroll av nitrat, pesticider, tungme- taller og mikroforurensninger er forhold som dominerer FoU-behovet i en helt an- nen grad i land med stor andel grunn- vannsforsyning, som for eksempel Dan- mark. Men også lokalt i Norge er dette aktuelle problemer.

- Organisering og kompetanse

Økt privatisering av vannforsyningen vil komme også i Norge. Dette vil medføre økt fokus på økonomiske forhold og på kvaliteten av det vannet som leveres til forbruker. Driftsoptimalisering, prosess- kompetanse og utvikling av verktøy for sammenligning av ulike vannverks ytelse og effektivitet vil da bli svært sentrale be- hov.

Økt privatisering og fokusering på forhold knyttet til vannkvalitet og økono- mi kan på sikt også endre sysselsettings- og kompetansebehovet. I USA er vann- og avløpsbransjen rangert på 7. plass i en analyse av industrigrener med høyest for- ventet sysselsettingsøkning i perioden 1996-2006 (51 %). Her i Norge er det nå – i kontrast til arbeidskraftbehovet - en voksende mangel på teknisk kvalifisert personale og studenter innen "vannfag". Dette kan raskt utvikle seg til et betydelig problem for norsk vannforsyning.

Teksten er basert på et foredrag av Bjørnar Eikebrokk, SINTEF og NTNU

Norsk drikkevann

Norsk drikkevann og norsk drikkevannsforsy- ning har flere særtrekk.

- **Overflatevann.** Om lag 85 % av drikkevannet i Norge er overflatevann. Bruk av grunnvann er mindre vanlig hos oss enn de fleste andre steder. Ifølge Folkehelsas vannverksregister mottar fortsatt 10-15 prosent av befolkningen som får drikke- vann fra overflatevannkilder, udesinfisert vann.
- **Små vannverk.** En svært stor andel av vannverkene i Norge er små. Om lag 70 prosent av vannverkene forsyner færre enn 1.000 personer. Mange av disse er private andelsvannverk. Det store antallet små vannverk stiller spesielle krav til behand- lingsteknologi og driftskontroll. Mange små vannverk har fortsatt en utilfredstil- lende vannkvalitet, både fysisk/kjemisk og hygienisk. Ofte er vannet sterkt farget som følge av humus-innholdet og abonnentene ved slike vannverk må ofte (særlig i som- merhalvåret) oppfordres av lokale helse- myndigheter om å koke vannet. De mindre lokale vannverk forsyner normalt også den lokale næringsmiddelindustri som meieri- er, slakterier og fiskeforedlingsbedrifter.
- **Kyst-problemer.** Spesielt langs kysten finnes det mange vannverk av denne typen. I disse distriktene er det ofte svært vanske- lig å finne tilstrekkelige mengder med grunnvann, og vannverkene eneste mulig-

het til å komme ut av den dårlige situasjo- nen er å behandle vannet. Det betyr at vannets innhold av farge og organisk stoff må reduseres (humusfjerning) samtidig som at vannets bakterieinnhold må fjernes (desinfeksjon).

- **Humus (NOM).** De problemer vi har med drikkevannet i Norge skyldes ofte mer nat- urlige enn direkte menneskeskapt foru- rensning. Det kanskje mest dominerende problemet er vannets humusinnhold. Humus er betegnelsen for en samling av lang-kjedede, organiske forbindelser som gir vannet en karakteristisk gul-brun far- ge, velkjent i myrområder og i skogstjern. For høyt humusinnhold i drikkevann er ne- gativt av flere årsaker. Problemene er dels knyttet til korrosjon og uønsket mikrobio- logisk vekst i distribusjonssystemene, og dels til at NOM antas å kunne forårsake helseproblemer når klor må anvendes som desinfiseringsmiddel, ved at det dannes kjente og ukjente desinfeksjonsbiprodukter (DBP). En tredje egenskap som gjør det ønskelig å fjerne NOM fra drikkevann er at dette naturstoffet, pga. utpregede komp- lekseringsegenskaper, etter hvert er blitt "forurenset" av organiske og uorganiske miljøgifter. Det finnes en rekke metoder for fjerning av humus og for desinfeksjon. Felles for alle disse metodene er imidlertid at de er forbundet med ulike ulemper, spe- sielt når de brukes på små vannverk.

Drikkevann mot år 2000

Driftsstudier av norske vann på 1980-tallet viste at et stort antall vannverk hadde behov for betydelig oppgradering for å være i stand til å levere drikkevann som tilfredsstilte nasjonale målsetninger og internasjonale forpliktelser.



SAMTIDIG HADDE NORGES teknisk- naturvitenskapelig forskningsråd (NTNF) "Program for drikkevannsforskning" (Drikkevannsutvalget) i årene 1982-1989 identifisert flere områder hvor vi trengte mer kunnskap. På bakgrunn av denne do-

kumentasjonen ba Sosial- og helsedepartementet våren 1994 Folkehelse utrede behovet for et nytt drikkevannsforskningsprogram. Forskningsprogrammet skulle være del av en planlagt nasjonal satsning for å oppgradere vannforsyningen.

"Drikkevannsforskning mot år 2000" ble på denne måten en av i alt tre søyler i den nasjonale satsningen "Program for vannforsyning". De to andre søylene ble tiltaksdelen og grunnvannssatsningen. Forskningsprogrammet skulle være handlingsrettet og ta opp problemstillinger knyttet til gjennomføringen av "Program for vannforsyning".

"Drikkevannsforskning mot år 2000" har vært delt inn i fire prioriterte forskningsområder: 1. Vannkvalitet og helse, 2. Behandling av drikkevann, 3. Drift, vedlikehold og økonomi, 4. Distribusjonssystemer. Innen hvert forskningsområde er det igjen identifisert prioriterte oppgaver for denne programperioden.

Forskningsprogrammet har i programperioden 1995-1999 støttet 22 prosjekter og gitt støtte til planlegging og gjennomføring av to internasjonale og en nasjonal konferanse.

En av forskningsprogrammets delmålsettinger ble å bygge opp nasjonal spisskompetanse for å kunne møte fremtidige utfordringer innen vannforsyningsområ-

Norske vannverk måtte oppgraderes, ble det konstatert på 1980-tallet.

det. Norges forskningsråd satte som mål å utdanne fire doktorkandidater og støtte tre postdoktorstipendiater som indikator for kompetansemålet. Programmet har lyktes å utdanne tre doktorkandidater (Christine M. Jonassen, Astrid S. Waage og Thor Thorsen) og støttet to postdoktorstipendiater (Inger Lise Streffensen og Esa Melin.)

Informasjon til brukerne og vitenskapelige miljøer er sentralt i et forskningsprogram som dette, og målet var å publisere 50 vitenskapelige artikler. Det er pr. i dag publisert ca. 90 artikler fra programmet. I tillegg er det skrevet en rekke artikler og nyhetsbrev hvor forskningsprogrammet og resultater fra programmet er presentert. I 1997 publiserte Forskningsrådet en prosjektkatalog hvor samtlige prosjekter ble presentert.

I løpet av de fem årene 1995-1999 har programmet hatt et budsjett på tilsammen 25 millioner kroner. I alt 16 millioner er bevilget av Sosial- og helsedepartementet, mens det er generert 9 millioner kroner som instituttmidler, tilskudd fra næringslivet og fra kommunene.

Teksten er basert på et foredrag av Asle Aasen, NORVAR, som har vært programkoordinator for "Drikkevannsforskning mot år 2000".

Programstyre

Programstyret for "Drikkevannsforskning mot år 2000" har bestått av følgende personer:

*Truls Krogh, Folkehelse (leder)
Kirstin Færden, Statens næringsmiddeltilsyn
Trond P. Flaten, NTNU
Wolfgang Schilling, NTNU
Torsten Hedberg, Chalmers tekniska högskola
Helge Thorheim, Forsvarets bygningstjeneste
Kristine Aslagnsen, Stavanger kommune
Tharald Hetland, Sosial- og helsedepartementet*

Hetland etterfulgte Ottar Christiansen og Kari Tove Elvebakken som SHDs representant.

Programsekretariat

Programmet er blitt administrert av Norges forskningsråd, Området for naturvitenskap og teknologi. Signe D. Urbye og Are B. Carlson har vært kontaktpersoner i Forskningsrådet.

Programkoordinator har vært sjefingeniør Asle Aasen, NORVAR.

Påvisning av patogener ved hjelp av PCR-

Nyutviklede metoder basert på såkalt PCR gir både hurtigere og mer følsom påvisning av sykdomsfremkallende mikrober som *Campylobacter*, *Yersinia* og *Salmonella* i drikkevann. Forskningsprosjektet ble gjennomført ved Folkehelsen.

MELLOM 10 OG 15 PROSENT av befolkningen i Norge får udesinfisert drikkevann fra overflatevannkilder. En rekke sykdomsfremkallende mikrober kan smitte via slikt drikkevann. I perioden 1974-1990 ble det oppklart til sammen 30 vannbårne utbrudd av akutt mage-tarminfeksjon med ca. 8500 sykdomstilfeller. Det reelle antallet er trolig langt høyere.

Viltlevende fugler, spesielt måker, utgjør en viktig smittekilde for bakterien *Campylobacter*. Større flokker av fugl er vanlig ved flere av våre drikkevannskilder. Det er også vist at husdyr kan være bærere av bakterier som kan gi sykdom hos mennesker, og dessuten bakterier som er resistente (motstandsdyktige) mot antibiotika. Slike bakterier finnes regelmessig i kommunalt avløpsvann, noe som reflekterer at en viss prosent av befolkningen til en hver tid er bærere.

Betydningen av drikkevann som spredningskilde for *Campylobacter* er blant annet fremkommet gjennom to epidemiologiske undersøkelser i Oslo-området og i Trøndelag.

Smittestoff

Sensitive (følsomme) og spesifikke metoder for påvisning av de aktuelle sykdomsfremkallende bakteriene, er en nødvendig forutsetning for drikkevannsforsyning av tilfredsstillende hygienisk kvalitet. Men mange sykdomsfremkallende tarmbakterier er svært vanskelige å påvise i vannprøver ved hjelp av konvensjonelle dyrk-



ningsmetoder. Disse har i tillegg den ulempen at de er til dels tidkrevende og kostbare. Dette gjelder ikke minst for bakteriene *Yersinia enterocolitica* og *Campylobacter* spp. En rekke ikke-sykdomsfremkallende varianter av *Y. enterocolitica* og nær beslektede arter er vanlige i vann, og forekomsten av slike bakterier vanskeliggjør påvisning av sykdomsfremkallende varianter. Det er derfor sannsynlig at *Yersinia* er blitt undervurdert som smittestoff overført via drikkevann. Et tilsvarende problem eksisterer for *campylobacter*, som også kan danne "hvilestadier" som ikke lar

seg dyrke med kjente metoder, men som likevel kan gi sykdom.

Nål i høystakk

Genteknologiske metoder basert på polymerase-kjedereaksjonen (PCR) er et alternativ som i mange tilfeller har vist seg bedre enn konvensjonelle mikrobiologiske påvisningsmetoder. Derfor startet Avdeling for bakteriologi ved Folkehelsen et prosjekt der målet var – ved hjelp av PCR - å utvikle hurtigere, mer sensitive og mer spesifikke metoder for påvisning

De bakterier metoden



Billedtekst for bildet til venstre her. Billedtekst for bildet til venstre her



Billedtekst for bildet til over her.

bakterie, virus eller parasitt. Det å lete etter noen få sykdomsfremkallende agens i en vannprøve med konvensjonelle metoder betegnes ofte som "å lete etter en nål i en høystakk". Med PCR-teknikken finner metoden selv "nålen i høystakken", og produserer automatisk en "stakk av helt like nåler". Og en stakk av like nåler er lett å påvise.

Gjennom prosjektet er det utviklet metoder som heretter muliggjør hurtig, sensitiv og spesifikk påvisning av de tre vanligste bakterielle årsakene til mage-tarminfeksjoner i Norge.

Konklusjon

Resultatene som er oppnådd i dette prosjektet vurderes som svært nyttige for alle som er engasjert i analyse av vannprøver og matvareprøver med hensyn på sykdomsfremkallende mikrober. Bakteriopåvisning som tidligere har kunnet ta opptil flere uker, kan nå avgjøres i løpet av et par dager. PCR-metoden er dessuten i stand til å påvise færre enn 10 bakterier pr. 100 ml vann. Det er lite trolig at metoden vil bli en rutineanalyse for vanlig bakteriologisk overvåking. I stedet vil den bli aktuell i mer spesielle tilfeller, og da særlig under oppklaring av sykdomsutbrudd i befolkningen der drikkevann er antatt å være smitekilden.

av de tre bakteriene *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter* spp., *Salmonella* spp. og antibiotikaresistensgener i vann, kommunalt avløpsvann og matvarer.

PCR-metoden gjør det mulig å lage millioner kopier av deler av en organismer arveanlegg (DNA eller RNA) dersom den aktuelle organismen finnes i en prøve. De delene av arvestoffet som brukes i testen er karakteristiske for hver organisme man ønsker å påvise, og de trenger i utgangspunktet kun finnes i et svært lavt antall i vannprøven. Teoretisk skal faktisk metoden kunne påvise arvestoff fra en enkelt celle, enten det nå er en

Tema 1.

Vannkvalitet og helse

Prosjekter:

Water quality and pregnancy outcome
Per Magnus, Folkehelsa

Kreftisiko forbundet med kloreringsbiprodukter i drikkevann
Forsker Inger-Lise Steffensen, Folkehelsa

Formation and effects of by-products from disinfection of humic water by ozone or chlorination
Dr.ing. Esa Melin, SINTEF

Reaktivering av enteropatogene bakterier etter desinfeksjon
Forsker Vidar Lund, Folkehelsa

Detection of Viruses in Water
Forskningssjef Bjørn Grinde, Folkehelsa

Påvisning av patogene bakterier og antibiotikaresistens i drikkevann med PCR
Stipendiat Astrid Waage, Folkehelsa

Mer kunnskap om membranfiltrering

samme lesten som det aller første her i landet.

"Membran-belegg, -kapasitet og renseeffekt er alle funksjoner av fundamentale egenskaper ved metoden. Derfor er problemfri drift og kostnader nært forbundet med fundamentale forhold, og det er potensiale for å oppnå både praktiske og økonomiske fordeler ved bedret kunnskap," konkluderer Thorsen etter å ha studert rensemetoden.

Fordi metoden i stor grad dreier seg om rensing av humus (NOM) fant Thorsen det nødvendig å først definere hva en humuspartikel er. Det viste seg å bli en stor oppgave i seg selv. Tykke bøker er skrevet om humus, men noen enkel og anvendbar definisjon finnes ikke. Å utvikle en slik ble helt nødvendig for doktorgradsstudenten.

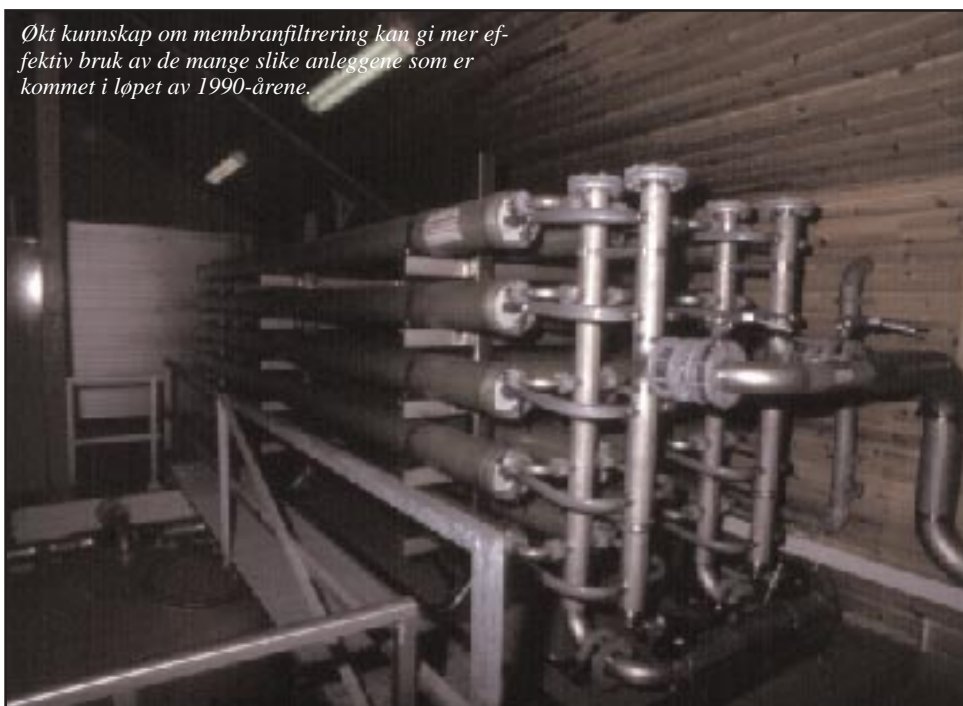
Thorsen fant blant annet at partiklenes form og størrelse er sterkt avhengig av den løsningen de oppholder seg i. Partikelegenskapene i typisk bløtt norsk overflatevann kan være svært forskjellige fra andre steder. Men også studier av syv ulike, men liknende vannkilder i Midt-Norge viste klare forskjeller. Det samme gjorde studier av typisk "vinter"-vann, "høst"-vann og "vår"-vann. Dette indikerer at det skjer endringer over året, med mer store partikler sent på våren når avrenningen fra tinende jordsmonn setter i gang.

Med blant annet dette som utgangspunkt er det utviklet en modell for humus som ellipsoide partikler av ulik størrelse og form.

Gjennom forsøk har Thorsen slått fast at både sammensetningen av råvannet, og i tillegg den såkalte tverrstrømhastigheten og fluksen alle påvirker viktige driftsvariabler for å hindre dannelse av humusbelegg på filteret – hovedproblemet ved membranfiltrering. Thorsen fant blant annet at renseeffekten falt dramatisk ved lave tverrstrømhastigheter.

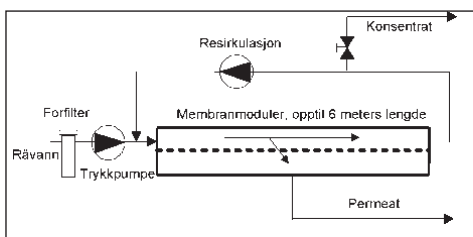
SINTEF-stipendiaten har videre kunnet slå fast at membranens overflatekarakter er meget viktig for om beleggdannelse skal oppstå. Thorsen har selv behandlet matematisk konsentrasjonspolariseringen på membranoverflaten og på den måten utviklet en modell for dens avhengighet av en rekke parametre. Kvantitative sammenhenger basert på denne modellen vil bli publisert utover i år 2000, varsler han.

Økt kunnskap om membranfiltrering kan gi mer effektiv bruk av de mange slike anleggene som er kommet i løpet av 1990-årene.



Membranfiltrering er i løpet av 1990-tallet blitt en etablert metode for rensing av humusholdig drikkevann i Norge. Metoden, som for få år siden var ukjent for dette formålet, er nå generelt akseptert. Det viser tempoet i antall anlegg som blir bygget og størrelsen på dem. Men metoden er fremdeles i sin barndom med hensyn til erfaring og optimalisering.

EN KLAR MANGEL på kunnskaper om fundamentale egenskaper ved denne typen



Det grunnleggende prinsippet i membran-anlegg er svært enkelt. Råvann pumpes via et forfilter inn i membranmodulene der det strømmer langs membranene (tverrstrøm) samtidig som filtreringen skjer gjennom disse.

anlegg var bakgrunnen for at Thor Thorsen ved SINTEF av Norges forskningsråd fikk innvilget et dr. grads studium for perioden 1996 – 98. Thorsens avhandling er nettopp ferdig.

Bemanningsbehovet ved rensenanlegg basert på membranfiltrering er relativt beskjedent. Kostnader ved slike anlegg er i stedet i stor grad knyttet til hvor effektivt belegg på membranen kan unngås - og derved hvilken kapasitet en kan få ut av hver kvadratmeter membran. Men både her og på andre områder har den dokumenterte kunnskapen vært begrenset. Noe som blant annet vises ved at alle slike norske anlegg fremdeles bygges over den

Det er bygget opp en ny norsk industri rundt rekeskall som råstoff. Etter flere års forskningsinnsats blir den naturlige polymeren kitosan nå benyttet til blant annet hudkremer, slankemidler – og vannrensing. To forskere ved NIVA har demonstrert hvordan drikkevann ved hjelp av kitosan kan renses på en miljøvennlig og fremtidsrettet måte.

Rekeskall brukt til vannrensing

DEN VANLIGSTE METODEN for fjerning av humus fra drikkevann i dagens norske vannverk er ved kjemisk felling med etterfølgende filtrering i sand/antrasitt eller knust marmor (direktefiltrering). Som fellingmiddel (koagulant) benyttes jern- eller aluminiumssalter. Disse er effektive, men restverdier av metall i det rensede vannet må kontrolleres og overvåkes nøye. Kravet til rest-aluminium etter filtrering har ofte vist seg vanskelig å tilfredstille. Metallinnholdet bidrar til å gjøre slamvannet til et problematisk avfall som ikke uten videre kan ledes til ferskvannsresipienter eller brukes på mark. Dette fordyrer både investerings- og driftskostnadene for vannverk.

Et alternativ har vært syntetiske polymerer, som også er effektive koagulanter i drikkevann. Men syntetiske polymerer inneholder små mengder monomer, som har vist seg å ha helsemessige effekter i forsøksdyr.

I motsetning til de syntetiske polymerene, er kitosan en naturlig polymer som ikke inneholder toksiske forbindelser. I stedet for at slammet fra norske vannverk blir et kostbart avfall, kan det ved kitosanrensing ha potensiale som en ressurs til for eksempel kompostering eller jord-

forbedringsmiddel, alternativt et mer miljøvennlig utslipp.

Det er blitt hevdet at kitosan som fellingmiddel er for kostbart sammenliknet med andre koagulanter, men for å få et riktig bilde av kostnadene, må også gevinster i form av reduserte kostnader for slambehandling og transport/deponering inkluderes, mener Helge Liltvedt og Tor Håkonsen ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Nye og mer effektive metoder for kitosanproduksjon, flere kitosanprodusenter (økt konkurranse) og økte kostnader i forbindelse med deponering av metallholdig slam er faktorer som kan endre på kostnadsbildet. Det samme kan en optimalisering av kitosan-bruken ved vannrensing. I tillegg vil bruken av kitosan kunne ha både miljømessige og helsemessige gevinster, gevinster som ikke uten videre kommer frem i økonomiske betraktninger.

For å få bedre kunnskaper om bruken av kitosan ved vannrensing, gjennomførte Liltvedt og Håkonsen i samarbeid med Ølen Vassverk, Sjunken Vannverk og Knudsen Prosjekt AS flere forsøk både i laboratorieskala, pilotskala og fullskala.

På denne måten har forskerne kommet fram til det de mener er optimale doseringsmengder for bruk på disse vannverkene. Dosering ut over optimalmengdene gir faktisk negativ effekt, slo forskerne fast. Forskerne lette også etter forskjeller ved bruk av forskjellige kitosankvaliteter, men fant her små utslag. De fant imidlertid at kitosanbehovet reduseres ved lav pH. Dette kan forklares med at den negative ladningen på humusmolekylene blir mindre ved lavere pH, samtidig som den positive ladningen på kitosanmolekylene øker.

Prosjektet har gitt så lovende resultater at arbeidet vil bli videreført av blant andre Håkonsen med en doktoravhandling ved Norges landbrukshøgskole.



Kitosan basert på rekeskall gir lovende resultater ved vannrensing.

Tema 2.

Behandling av drikkevann

Prosjekter:

"Typing" av NOM
Professor Egil Gjessing,
Høgskolen i Agder

Bestemmelse av biotilgjengelig karbon (AOC og BDOC) ved norske vannverk
Dr. ing. Colin Charnock, Aquateam AS

Optimalisering og videreutvikling av koagulerings/biofiltrering
Forskningsjef Bjørnar Eikebrokk, SINTEF

Optimalisering av vannbehandling basert på ozonering og biofiltrering
Professor Halvard Ødegaard og dr. ing. Esa Melin, SINTEF NTNU

Fundamentale studier av membranfiltrering
Seniorforsker Thor Thorsen, SINTEF

Biologisk vannrenseteknologi for små vannverk
Professor Arild S. Eikum, Norges Landbrukshøgskole

Utprøving av nytt filtermateriale til drikkevannrensing
Stipendiat Torgeir Saltnes, NTNU og Bjørnar Eikebrokk, SINTEF

Natriumsilikat som korrosjonsinhibitor
Forsker Stein W. Østerhus, SINTEF

Kombinert humusfjerning og korrosjonskontroll ved bruk av kitosan og vanningssalt
Forsker Tor Håkonsen og Helge Liltvedt, NIVA

Prosjekter:

System for valg av prøvepunkter på drikkevannsanlegg og ledningsnett
Sivilingeniør Ragnar Storhaug, Aquateam AS

Fuzzy vannbehandling
Forskningskoordinator Harsha Ratnaweera, NIVA

Utvikling av kontinuerlig sensor for overvåking av vannbehandlingsprosesser og overvåking av hygienisk kvalitet av drikkevann
Ingunn Dale Samset, Colifast Systems ASA

Utvikling av instrumentell metode for påvisning av luftforbindelser
Overingeniør Ingun Skjevraak, Næringsmiddeltilsynet for Midt-Rogaland

Raskere svar om bakterier

Mikrobiologisk vannkvalitet er viktig for den totale vannkvaliteten. Men tradisjonelle metoder for deteksjon av koliforme indikatorbakterier gir ikke svar før etter 1-2 døgn, og noen ganger så lenge som 3-7 døgn. Dette betyr at resultatene av en bakterieanalyse først er klare etter at vannet har nådd fram til kunden. Da kan det være for sent. Det norske selskapet Colifast Systems ASA har utviklet instrumentet CA-100 som kan detektere koliforme bakterier i løpet av 2-12 timer. Men er svarene til å stole på?

DET HJELPER OSS LITE om vi får vite at det vannet vi allerede har drukket var forurenset. Slik har situasjonen gjerne vært til nå, fordi målemetodene har brukt lang tid.

På tross av at millioner av vanntester blir analysert over hele verden, er forurenset vann fremdeles en hovedårsak til sykdom og lidelse. Raskere påvisning av indikatorer for patogene mikroorganismer i drikkevann gjør det mulig for oss å sette i verk tiltak før vannet når forbrukerne. Nye metoder for å måle mikrobiologisk vannkvalitet har i løpet av de siste årene dukket opp på markedet. Disse metodene er raskere (18 timer) og enklere å utføre enn de tradisjonelle metodene. Men Colifast Systems har klart å redusere deteksjonstiden ytterligere til 2-12 timer. Under "Drikkevann mot år 2000" ble det presentert noen prosjekter som ønsket å finne ut hvor gode resultater CA-100 instrumentet gir, om målemetoden er like sensitiv som tradisjonelle metoder og om deteksjonstiden svarte til forventningene.

Colifast-metoden består av et CA-100 instrument og et vekstmedium.

Hovedkomponentene i CA-100 er to inkubatorblokker, en robotarm som tar prøvene, et fluorometer, et rensesystem og en programvare som behandler resultatene. Resultatene måles i fluorescerende enheter. Colifast-metoden er basert på en enzymatisk reaksjon. Mediet inneholder et substrat (4-methylumbelliferone-B-galaktosid) som blir spaltet av enzymet B-D-galaktosidase som finnes i koliforme bakterier, og resultatet er et fluorescerende produkt som kan måles med CA-100.

Jo flere bakterier det er i prøven, jo flere enzymer spalter substratet og det fører til at mer fluorescens blir dannet, og dermed får man tidligere deteksjon på CA-100. Ut fra deteksjonstiden er det dermed mulig å kvantifisere antallet bakterier og dermed si noe om vannkvaliteten.

CA-100 instrumentet har blitt testet av Interconsult Group i samarbeid med Næringsmiddeltilsynet i Borg (Østfold), og hos Gøteborg vannverk. I Østfold ble 243 vannprøver fra Fredrikstad og Sarpsborg kommune undersøkt. Vannprøvene ble kjørt parallellt på tradisjonell membranfilter metode og på CA-100. Resultatene viste god overensstemmelse. I 12 tilfeller detekterte Colifast-metoden koliforme bakterier uten at den tradisjonelle membranfilter-metoden plukket opp noen bakterier. I Gøteborg ble målingene foretatt i løpet av 2 timer på CA-100 for å finne ut om nivået av fekal forurensning var høyere enn normalt. Med Colifast-metoden får de svar raskt nok til å stenge inntaket eller behandle vannet dersom nivået er for høyt, og dermed kan de hindre at forurenset vann når konsumentene.

Gruppen bak CA-100 har nå under utvikling et on-line instrument, som en videreføring av laboratorieapparatet CA-100. Et slikt instrument vil for eksempel kunne plasseres oppstrøms for et råvannsinntak, og gi ferdige måleresultater før vannet når selve vannverket. Mange råvannskilder ligger dessuten krunglete til for manuelle prøveuttak, dermed vil et on-line instrument kunne være både tidsbesparende og forenkende.

Optimal fornyelse av vannforsyningsnettet

Ledningsnettet for vannforsyning som betjener norske byer og tettsteder er opptil 150 år gammelt. En generell fornyelse av alt eldre forsyningsnett vil kreve økonomiske ressurser som er utenfor kommunenes rekkevidde i dag. I stedet må det legges planer for et hensiktsmessig vedlikehold. Nye metoder og dataverktøy vil framover gjøre at kommunene langt bedre kan fastslå hvilke deler av nettet som bør fornyes og hvilke som kan beholdes.

MODERNE FORVALTNING av vannforsyningssystemer bør baseres på nøyaktig informasjon om den tekniske og funksjonelle tilstanden til ledningsnettet, sannsynligheten for feil og konsekvensene av feil. Denne informasjonen kan mest effektivt skaffes til veie med et databasert system som inkluderer innsamling av opplysninger om feil, kombinert med metoder for varsling av feil og metoder for vurdering av pålitelighet av ledningsnettet. Dette slås fast i et forskningsarbeid der Sveinung Sægrov, Terje Christensen, Geir K. Hansen og Ingrid Selseth ved SINTEF og Jon Røstum ved Institutt for vassbygging (NTNU) i Trondheim har deltatt.

Rehabilitering av vannledningsnett kan utføres med en forebyggende (pro-aktiv) eller en reparerende (re-aktiv) strategi. Det finnes ingen vitenskapelige beviser for at forebyggende vedlikehold i seg selv er bedre teknisk og økonomisk enn reparerende vedlikehold. Suksessen ved pro-aktivt vedlikehold avhenger av hvilke kriterier som brukes ved beslutninger om rehabilitering.

Det er nå utviklet statistiske metoder for å beregne pålitelighet av nettverk som vannforsyningssystem. Systemet er blant annet basert på at hver enkelt ledning og hvert enkelt knutepunkt, i alt tusenvis av komponenter, har en bestemt sviktsannsynlighet. Denne sannsynligheten kan beregnes. De mest sentrale parametrene er



Billedtekst til bildet over

registrerte brudd/lekkasjer, alder, lengde og materiale. Men det finnes også flere andre.

En beregning av feilsannsynligheten for ledningsnettet i 10 norske kommuner (Selseth og Sægrov 1999) viste at feilhyppigheten er vesentlig større i Trondheim enn i noen annen kommune. Også kommuner som Kristiansand og Oslo har mange feil. Mens en kommune som Bergen bare har 1/5 så mange feil som Trondheim og 1/3 sammenlignet med Kristiansand og Oslo. (Mangel på gode rutiner for feilregistrering kan ha ført til lavere registrering enn den faktiske.)

Datagrunnlaget tyder videre på en langsiktig trend mot en lavere skadehyppighet i en kommune som Kristiansand, og en motsatt trend mot høyere skadehyppighet i en kommune som Bergen.

Kommune	Bergen	Kristiansand	Oslo	Tromsø	Trondheim
Antall feil/100 Km/år	4,1	14,5	13,1	6,7	23,6

Det er store forskjeller i antallet registrerte feil pr. 100 km ledning/år i norske bykommuner. (Sviktede registreringsrutiner kan forklare en del av forskjellene.)

Tema 4.

Distribusjonssystemer

Prosjekter:

Kobberkorrosjon og -konsentrasjon i vannledninger

Seniorforsker Stein W. Østerhus, SINTEF og seniorforsker Lars Hem, Aquateam

Modellering av vannkvalitetsendringer i ledningsnettet

Odd Atle Tveit, Trondheim kommune, seniorforsker Stein W. Østerhus og forsker Hermann Helness, SINTEF

Optimal fornyelse av vannforsyningsnett. Planleggingsmetoder og teknologisk grunnlag.

Seniorforsker Sveinung Sægrov, SINTEF

Også Trondheim har tiltakende forfall, mens de fleste andre steder er i en "status quo" stilling.

Kravet til sikker vannforsyning vil øke i årene framover, samtidig som en voksende del av ledningsnettet vil være modent for rehabilitering. Samtidig vil de økonomiske ressursene til drift, vedlikehold og fornyelse være begrenset. Dette krever metoder som sikrer en mest mulig optimal rehabiliteringsstrategi, der unødvendige arbeider unngås og der tiltak settes inn til rett tid, hverken for tidlig eller for sent. Norske byer og tettsteder har nå til disposisjon et metodegrunnlag som inkluderer en rekke momenter, og har dermed mulighet for en langt mer sikker planlegging av rehabilitering og vannteknisk beredskap enn tidligere.



Programsekretariat:
Norges forskningsråd

Norges forskningsråd
Postboks 2700
St. Hanshaugen
0131 OSLO
Telefon: 22 03 70 00
Telefaks: 22 03 70 01