

Forslag til prosedyrer for bestemmelse av optimal desinfeksjonspraksis

Av Hallvard Ødegaard, Stein W. Østerhus og Liv Fiksdal

Hallvard Ødegaard og Liv Fiksdal er begge professorer ved Institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU. Stein W. Østerhus er forsker samme sted

Sammendrag

Artikkelen presenterer et forslag til en prosedyre for bestemmelse av "optimal desinfeksjonspraksis" basert på NORVAR-prosjektet med samme navn. Dette prosjektet dekker alle aspekter knyttet til desinfeksjon av drikkevann i Norge, men artikkelen dekker kun de aspekter som knytter seg til prosedyrer for å finne fram til hva som vil være det beste valg av metode for desinfeksjon i vannbehandlingsanlegget. Prosedyren er basert på; a) størrelsen av anlegget, b) type av vannkilde, c) vannkvaliteten i vannkilden, og d) den vannbehandling som er forutsatt for øvrig i anlegget. Når det gjelder anleggsstørrelse har man inndelt i tre grupper; <1000 pe, 1000-10.000 pe, og > 10.000 pe ettersom disse størrelsesområdene dekker godt størrelsesstrukturen av vannverk i Norge. Man skiller mellom tre typer av vannkilder; a) grunnvann,

b) overflatevann fra innsjøer, og c) overflatevann fra elver og bekker. Man bestemmer "kvalitetsnivået" i vannverket basert på størrelse og vannkvaliteten i kilden. Vannkvaliteten baserer seg på historiske data for tilstedeværelse av *E. coli* og *C. perfringens* samt i de fleste tilfeller en grundigere kartlegging av sporer av *C. perfringens* og av parasitter (*Cryptosporidium* og *Giardia*). "Kvalitetsnivået" leder en til det nødvendige "barrierenivå" som er oppgitt som en viss log-reduksjon med hensyn til bakterier, virus og parasitter, som er nødvendig for vannverket som helhet. Så gis det log-kreditt for tiltak i nedslagsfelt og vannkilde og for vannbehandlings-tiltak utover den endelige desinfeksjonen. Dette gir grunnlaget for valg av den optimale desinfeksjonsmetode samt dimensjonering av denne basert på Ct-prinsippet.

Abstract

The paper presents a proposed procedure for the determination of “best disinfection practice”, based on the NORVAR-project: Optimal disinfection practice. This project covers all aspects related to disinfection in Norway, but the paper will highlight only the issue on procedure for selecting the correct strategy for the final disinfection of the plant. The procedure is based on; a) the size of the plant, b) the type of raw water source, c) the water quality of the water source, and d) the water treatment that is planned besides disinfection. Plant size is divided in three groups; 1000 pe, 1000-10.000 pe, and > 10.000 pe because this covers well the size structure of the Norwegian waterworks. It is differentiated between three types of water sources; a) ground water, b) surface water from lakes, and c) surface water from rivers and brooks. One is determining the “quality level” of the waterwork based on its size and source water quality. The water quality is based on historical data on the presence of *E. coli* og *C. perfringens* and (in most cases) a more thorough surveying of *C. perfringens* spores and parasites (*Cryptosporidium* and *Giardia*). The “quality level” leads to the necessary “barrier level” that is given as a certain log-reduction needed for the whole waterworks with respect to bacteria, viruses and parasites. Then a log-credit is given for measures taken in the run-off area and water source, for water treatment measures besides the final disinfection, and this gives

the possibility to calculate the log-reduction needed for the final disinfection. This will then be the basis for selecting the best disinfection method as well as the design of that particular disinfection plant through the use of the Ct-principle.

Innledning

Desinfeksjon har vært én av bærebjelkene i det å sikre befolkningen et hygienisk betryggende drikkevann. Klorering har historisk sett vært den viktigste desinfeksjonsmetoden både i Norge og i andre land. Norge var imidlertid tidlig ute med å ta i bruk UV-bestråling som desinfeksjonsmetode, og antallet UV-anlegg har økt sterkt de senere år. Det var i 2005 312 vannverk som brukte klorering alene og 528 vannverk som brukte UV alene. I tillegg var det 204 vannverk som både brukte klorering og UV, slik at det altså totalt var 732 UV-anlegg og 516 kloreringsanlegg i landet (Ødegaard et al, 2006). Regnet i antall personer som mottar vann, var likevel klorering fortsatt den dominerende metode, ettersom UV-anlegg i stor grad har blitt installert ved små og mellomstore vannverk. Også dette har forandret seg nå (2006) ettersom UV-anlegg nå blir installert ved store vannverk i bl.a. Oslo og Bergen. Ozonering er lite brukt i Norge (og i de øvrige nordiske land), men også interessen for ozon er økende, i Norge spesielt som en kombinert metode for humusfjerning og desinfeksjon i anlegg basert på ozonering/biofiltrering. Det er særlig to årsaker til en reduksjon i bruk av klor til fordel for UV og ozon:

- Kunnskapen om at klor danner helseskadelige klororganiske forbindelser når det reagerer med naturlig organisk materiale (NOM eller humus) i vann
- Kunnskapen om at enkelte patogene mikroorganismer (særlig parasittiske protozoer) er meget resistente overfor klor

Den norske kloreringspraksis har gjennom årene vært preget av lave klordoser. Dette har medført at dannelsen av klororganiske stoffer ikke har blitt ansett for å være et stort problem. Tiltakene rettet mot fjerning av humus (NOM) har derfor mer vært begrunnet i fjerning av farge enn mot kontroll med dannelsen av klororganiske forbindelser. Man kan imidlertid stille spørsmål ved effektiviteten av kloreringen mange steder, nettopp på grunn av de lave dosene som er benyttet, ettersom klorbehovet til oksidasjon av humusstoffer kan ha vært så høyt at restklorkonsentrasjonen kan ha blitt for liten til å gi en sikker hygienisk barriere.

Norsk desinfeksjonspraksis har primært vært rettet mot inaktivering av patogene bakterier og virus. Det har imidlertid ikke vært praksis i den ordinære overvåkingen å analysere mht virus. Man har benyttet indikatorer for effektivitet av desinfeksjonen som man har trodd også vil dekke den potensielle smitte som virus i drikkevann vil kunne representere. I de senere år har man både i utlandet og i Norge blitt oppmerksom på at epidemier kan skyldes forekomst av klorresistente patogener, hovedsakelig parasittiske protozoer (for eksempel *Cryptospori-*

dium og *Giardia*) som i det følgende blir referert til som ”parasitter”. Dette har vært kjent i minst 20 år, men har ikke vært gjenstand for særlig oppmerksomhet i Norge før man for få år siden fikk konstatert at oocyster og cyster av disse parasittene forekommer i om lag 1/3 av norske drikkevannskilder (Robertson og Gjerde, 2001) og ikke minst *Giardia*-epidemien i Bergen høsten 2004, som viste at vi også her i landet vil kunne få epidemier dersom de hygieniske barrierene ikke er tilstrekkelige.

UV-bestråling ble ikke tatt i bruk i Norge primært for å demme opp for de problemene som klorering representerer, men mer som en hensiktsmessig og enkel desinfeksjonsmetode for små vannverk. UV-bestråling fører ikke til dannelse av biprodukter i særlig grad, og metoden har vist seg å være effektiv overfor parasitter. Dette har, sammen med det generelle ønsket om å redusere bruken av klor, bidratt til en dreining av desinfeksjonspraksis bort fra klor og i retning av UV-bestråling. Internasjonale undersøkelser har imidlertid vist at UV-bestråling ikke er like effektiv overfor visse typer av virus (spesielt Adenovirus), slik at heller ikke denne metoden er fri for ”lyter”.

Ozonering kan primært betraktes som en oksidasjonsmetode som dessuten gir god desinfeksjonseffektivitet. Det er derfor sjelden at ozonering brukes kun til desinfeksjon. Men også ozonering velges i mange land fremfor klor for desinfeksjonsformål, for å hindre dannelse av klororganiske biprodukter og for å oppnå en mer effektiv inaktivering av parasitter

(spesielt *Giardia*). Ozonering kan imidlertid danne andre biprodukter (for eksempel bromat) og representerer heller ikke den ”ideelle” desinfeksjonsmetode.

Ved innføringen av den nye drikkevannsforskriften i Norge (01.01.2002), ble det nedfelt at norske vannverk skulle ha ”to uavhengige hygieniske barrierer”, hvorav minst én av barrierene skal ligge i desinfeksjonen. Dette, sammen med den generelle utviklingen av desinfeksjonspraksis i Norge og i andre land, har aktualisert mer oppmerksomhet omkring desinfeksjon og desinfeksjonspraksis. Det er skapt en viss usikkerhet hos vannverkseiere og planleggere mht hva de skal satse på når det gjelder desinfeksjon i årene som kommer. Den utviklingen som er beskrevet over, har avstedkommet et kunnskapsbehov knyttet til en rekke forhold vedrørende desinfeksjonspraksis hos alle som arbeider med å etablere hygieniske barrierer i vannverkene. NORVAR har derfor igangsatt et prosjekt: ”Optimal desinfeksjonspraksis”, som primært tar sikte på å sammenstille kunnskap på feltet, med tanke på å øke kompetansen om desinfeksjon i drikkevannsbransjen. En slik økt kompetanse er nødvendig for å gjøre bransjen i stand til å innta en aktiv og kompetent rolle i den dialog med godkjenningmyndigheten som planlegging, utbygging og drift av vannverk krever. Rapporten fra prosjektet, som utgis med det første, inneholder a) en oversikt over viktige patogener i drikkevann, b) oversikt over desinfeksjonsmetoder, c) en diskusjon av risiko og sårbarhet

ved desinfeksjon, d) en gjennomgang av norsk desinfeksjonspraksis i dag, e) resultat av en undersøkelse av desinfeksjonspraksis i andre land, f) en gjennomgang av amerikanske regler for dimensjonering og drift av desinfeksjonsanlegg, g) forslag til en verktøykasse for beregnings- og testmetoder for hhv klorering, ozonering og UV-bestråling, samt den foreslåtte prosedyre for å finne fram til ”optimal desinfeksjonspraksis” som er omtalt foran. I det følgende er det bare denne prosedyren som blir omtalt.

Forslag til en prosedyre for bestemmelse av optimal desinfeksjonspraksis

Det presiseres at det forslag til prosedyre som her foreslås, er ment å være et diskusjonsgrunnlag. Innholdet i prosedyren er ikke fullstendig utarbeidet og må videreutvikles. Vi har ment at det vil være riktig å sette i gang en diskusjon om behovet for og nødvendigheten av dette, som kan lede fram til et gjennomarbeidet opplegg som alle parter kan gi sin tilslutning til. Det er først da en slik prosedyre ville være av nytte for bransjen.

Det er også lagt vekt på at de kriteriene som ligger til grunn for bruken må være enkle og at det ikke må kreves et svært omfattende forarbeid for å kunne ta den i bruk. Det er derfor viktig at man ikke ser på de kriteriene som er valgt som vitenskapelig begrunnede. De kan like gjerne være begrunnet ut fra logiske sammenhenger og må testes ut i praksis for å oppnå en ”kalibrering” av tallstørrelsene i prosedyren.

Oppbygging av en prosedyre

En prosedyre for bestemmelse av optimal desinfeksjonspraksis, bør ta utgangspunkt i:

- Hvilken "risikosituasjon" vannverket står overfor
- Hvilken "sårbarhetssituasjon" vannverket står overfor
- Hvilken vannkvalitet man har i kilden/råvannet
- Hvilke tiltak som er gjort i nedslagsfelt og kilde
- Hvilken vannbehandling utover desinfeksjon som er forutsatt

Alle disse forhold er med på å bestemme den risikosituasjon man står overfor og som bør ligge til grunn for de desinfeksjonstiltak som bør treffes.

"Risikosituasjonen"

Det er selvsagt svært omfattende å kartlegge eller bestemme hvilken risikosituasjon et gitt vannverk står overfor. Vi har satt "risikosituasjonen" i anførselstegn ettersom vi her foreslår å knytte dette begrepet til størrelsen på vannverket, og dermed egentlig til konsekvensgraden av en uheldig desinfeksjonspraksis. Risiko kan uttrykkes som produktet av sannsynlighet og konsekvens. For den enkelte spiller det ingen rolle om man blir syk av en epidemi i et lite vannverk eller i et stort, men for samfunnet blir konsekvensene størst i det store vannverket. Vi har derfor valgt å bruke vannverkets størrelse (antall personer forsynt, p) som et kriterium på "risikosituasjonen". Dette er også et svært enkelt kriterium å bruke fordi kunnskap om dette alltid finnes. For at prosedyremodellen ikke skal bli om-

fattende, har vi foreslått å benytte tre nivåer; < 1000 p, 1000 – 10000 p og > 10.000 p, ettersom dette fanger godt opp størrelsesstrukturen i norsk vannforsyning.

"Sårbarhetssituasjonen"

Sårbarheten til et vannverk er blant annet bestemt av typen av vannkilde, og vi har derfor foreslått at typen av vannkilde trekkes inn i prosedyren som et kriterium på "sårbarhetssituasjon". En beskyttet grunnvannskilde er for eksempel mindre sårbar enn en overflatevannkilde, og en innsjø med dypvannsinntak er mindre sårbar enn en elv/bekk. Det er klart at en inndeling kun basert på kildetype blir meget grov, men trekker vi inn andre faktorer som er relevante (for eksempel geografisk beliggenhet, grunnens beskaffenhet, innsjøens dybde, elvens vannføring, lokalt klima etc), blir kriteriet straks uhåndterlig. Vi har derfor valgt å ta utgangspunkt i tre kategorier - grunnvann, innsjø og elv/bekk. Det er klart at man også her kunne valgt en langt mer finmasket inndeling, men igjen har hensynet til enkelhet vært avgjørende. Har man vannkilder som ligger i grenseland mellom disse kategoriene, må man utvise skjønn og plassere det aktuelle vannverk i den av de tre kategoriene som synes mest korrekt. Spesielt når det gjelder grunnvann, er det behov for noen oppklarende definisjoner. Vi har valgt å skille mellom:

- Genuint grunnvann
- Overflatevannpåvirket grunnvann
- Grunnvann fra kunstig grunnvannsinfiltrasjon

Genuint grunnvann stammer fra et magasin i løsavsetninger. I veiledningen til drikkevannsforskriften heter det at dersom vannets transport gjennom løsmassene i umettet og mettet sone til sammen utgjør minst 60 døgn, regnes dette som tilstrekkelig for å inaktivere bakterier og virus. Det er grunn til å tro at man her også kunne inkludere parasitter. Det er imidlertid ikke alltid lett å bestemme den faktiske oppholdstid, og dermed bør man vurdere om andre kriterier på genuint grunnvann kunne brukes. Vi tar imidlertid ikke stilling til dette her, men ser heller på hva som ikke er genuint grunnvann, gjennom å definere de to andre kategoriene. Overflatevannpåvirket grunnvann, er vann:

- fra boret eller sprengt fjellbrønn uten løsmasseoverdekning
- borebrønn med løsmasseoverdekning på mindre enn 10 m
- fra grunnen som stammer fra kunstig grunnvannsinfiltrasjon hvor beregnet oppholdstid gjennom grunnen er mindre enn 3 døgn eller vannets transport gjennom grunnen er mindre enn 10 m
- fra grunnen som viser tegn til (for eksempel i hygienisk kvalitet) at det er påvirket av overflatevann
- fra grunnen, men som på grunnlag av hydrogeologisk ekspertutredning kan mistenkes å være påvirket av overflatevann.

Det er grunn til å gå disse kriteriene grundigere etter i sømmene i en videreføring av dette prosjektet.

Vi foreslår at overflatevannpåvirket grunnvann ikke skal regnes som grunnvann, men som å komme fra en

overflatevannkilde basert på elv/bekk (evt innsjø – her må skjønn utøves).

Når det gjelder grunnvann fra kunstig grunnvannsinfiltrasjon, er dette i utgangspunktet overflatevann som blir forbehandlet gjennom passasje gjennom grunnen. Vi foreslår derfor å håndtere en slik situasjonen på samme måte som vi håndterer annen vannbehandling, nemlig ved at det eventuelt gis en log-kreditt (se senere) for den forbehandlingen som infiltrasjonen gir. Alternativt kan man se på det vann som tas ut fra brønnen som råvann.

Når det gjelder innsjøer, kan det vurderes om man skal trekke inn inntakets dybde og/eller oppholdstiden i innsjøen, selv om erfaringer viser at dette ikke nødvendigvis er tilstrekkelige kriterier. I den prosedyren som foreslås, bygger kvalitetsvurderingen på analyser i råvannet, og derfor synes det unødvendig å differensiere mer på vannkildetype enn det som er foreslått. Bestemmelse av barrierehøyde gjøres på grunnlag av vannkvalitetssituasjonen og anleggsstørrelsen. "Sårbarhetssituasjonen" (vannkildetype) kommer inn i prosedyren først i forbindelse med tildeling av log-kreditt for tiltak i nedslagsfelt og vannkilde.

Vannkvalitetssituasjonen

Når vi skal velge kriterium for hygienisk vannkvalitet, må vi ta hensyn til hva man faktisk analyserer på i det enkelte vannverk. Den norske drikkevannsforskriften forutsetter bestemmelse av koliforme bakterier, *E. coli*, *C. perfringens* og Intestinale enterokokker. Innholdet av koliforme bakterier sier neppe så mye om faren

for hygienisk betenkelig kontaminering. *E.coli* anses som en sikker indikator for fekal kontaminering, og *C. perfringens* er brukt som en indikator for resistente organismer (parasitter og virus). Vi har derfor valgt å foreslå tilstedeværelse av *E. coli* og *C. perfringens* som kriterier for hygienisk kontaminert vann, både mht bakterier, virus og parasitter når det tas utgangspunkt i den normale overvåkingen vannverkene gjennomfører.

Alle vannverk skal bestemme disse parametrene på vann til forbruker, men det er ikke alle som registrerer råvannskvaliteten. Det vil imidlertid være nødvendig å ta utgangspunkt i råvannskvaliteten, enten kvaliteten direkte i kilden eller i tilløpsvannet til vannverket, om man skal bruke den prosedyren som foreslås her. Vi foreslår at det skal ta utgangspunkt i registreringer av *E.coli* og *C. perfringens* i råvannet over en periode som ansees tilstrekkelig av tilsynsmyndighetene (f.eks. de siste 3 år). Dersom man ikke har gjort registreringer, forutsettes det at det gjennomføres slike registreringer over minst ett år. Resultatet av den historiske registreringen vil bestemme hvordan man går videre. Man kan enten på grunnlag av resultatet velge en "føre var"-holdning og legge seg på et kvalitetsnivå som tar utgangspunkt i det verst mulige scenario når det gjelder den aktuelle vannkildetype, eller man kan igangsette et kartleggingsprogram over ett år for å kartlegge den hygieniske vannkvaliteten ytterligere. Ettersom utfordringen i stor grad er knyttet opp mot

organismetyper som man normalt ikke analyserer på i henhold til forskriften, nemlig virus og parasitter, er hensikten med denne kartleggingen å gi bedre grunnlag for å fastslå kvalitetsnivået mht virus og parasitter enn det den vanlige overvåkingen gjør. Det foreslås derfor at det skal analyseres på sporer av *C. perfringens*, samt forekomst av parasitter i råvannet i løpet av dette kartleggingsprogrammet. Det er vel kjent at det stilles spørsmål ved *C. perfringens* som indikatororganisme, og så snart man har innført rutiner på bestemmelse av virus (eller en bedre indikator på virus), bør dette tas inn i stedet for *C. perfringens*.

Når det gjelder parasitter, bør man i utgangspunktet analysere på både *Giardia* og *Cryptosporidium*, ettersom det ikke er åpenbart at begge parasitter forekommer om man registrerer den ene. Det kan imidlertid argumenteres for å velge bare *Cryptosporidium* ut fra det kriterium at denne parasitten har størst resistens mot desinfeksjon. Vi skal i det følgende forutsette at man i den kartlegging som foreslås nedenfor, analyserer mht både *Cryptosporidium* og *Giardia*, og at nivået av enten den ene eller den andre, evt summen av de to, legges til grunn for hvilke tiltak som skal treffes. Fremgangsmåten for fremskaffelse av kunnskapen om kvalitetsnivået i kilden skal beskrives nærmere nedenfor.

Tiltak i nedslagsfelt/kilde og øvrige vannbehandlingstiltak

Den informasjon om vannverket som er fremskaffet slik som beskrevet

over, gir grunnlag for å kategorisere vannverket til et bestemt kvalitetsnivå. Til hvert kvalitetsnivå hører en bestemt "barrierehøyde" uttrykt som den log-reduksjon av de ulike organismegruppene (bakterier, virus og parasitter) som vannverket må ta sikte på å nå, totalt sett.

Beskyttelsestiltak i nedslagsfelt og vannkilde gis så en nærmere spesifisert log-kreditt som kan trekkes fra den barrierehøyden man hadde i

utgangspunktet. Likeledes gis vannbehandling (evt kunstig grunnvannsinfiltrasjon) utover sluttedesinfeksjonen, som gir en reduksjon av organismer, en nærmere bestemt log-kreditt som trekkes fra barrierehøyden, slik at man til slutt kommer fram til den log-reduksjonen sluttedesinfeksjonen krever. Oppbyggingen av prosedyren blir da prinsipielt som vist i tabell 1.

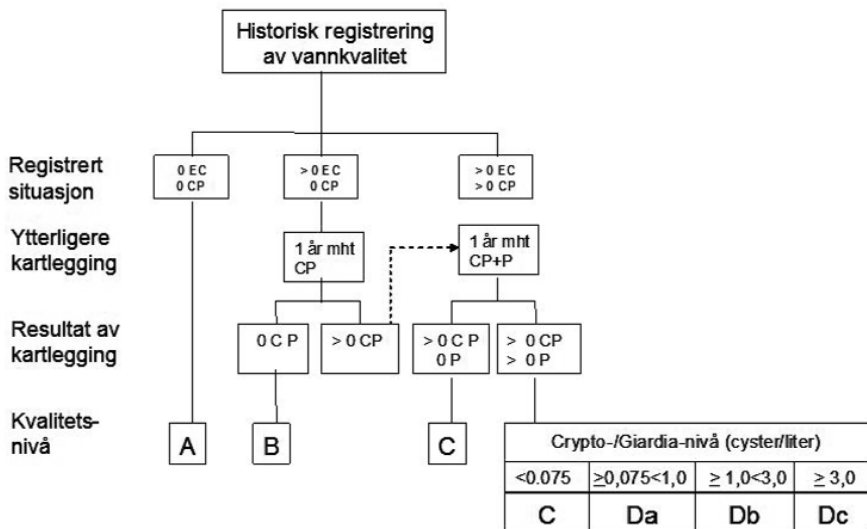
1	Bestem "risikosituasjon" = f (vannverksstørrelse)
2	Bestem "sårbarhetssituasjon" = f (vannkildetype)
3	Registrer råvannets hygieniske kvalitet = tilstedeværelse av <i>E.coli</i> og <i>C. Perfringens</i>
4	Gjennomfør (evt) kartlegging mht sporer av <i>C. Perfringens</i> og <i>Cryptosporidium/Giardia</i> = f (3)
5	Kategoriser vannverkets kvalitetsnivå = f (3,4)
6	Bestem barrierehøyden uttrykt som nødvendig total log-reduksjon = f (1,5)
7	Bestem log-kreditt i nedslagsfelt og kilde = f (2, tiltak i nedslagsfelt/kilde)
8	Bestem log-kreditt i vannbehandling = f (vannbehandling utover sluttedesinfeksjonen)
9	Bestem nødvendig log-reduksjon i sluttedesinfeksjonen = f (6 ÷ 7 ÷ 8)

Tabell 1. Oppbygning av en prosedyre for bestemmelse av hygienisk barriereeffekt

Bestemmelse av kvalitetsnivå

Proseduren frem mot bestemmelse av kvalitetsnivå er illustrert ved Figur 1. Den vil gjelde for alle vannverk uansett størrelse og kildetype. Man følger strekene i figuren fra toppen. Registreringen av vannkvalitet mht *E.coli* (EC) og *C. perfringens* (CP) bestemmer om man trenger å gjøre ytterligere kartlegging av kvalitetsnivået. Dersom man ikke har gjort målinger på råvann, kun på levert vann, må man gjennomføre en kartlegging på minst ett år på råvannet. Dersom man har analysert for, men ikke påvist EC eller CP i råvannet i løpet av 3 år, behøver man ikke gjøre ytterligere

kartlegging, og vannverket vil kategoriseres med kvalitetsnivå A. Dersom *E. coli* (EC) er registrert, men ikke *C. perfringens* (CP), skal man sette i gang et kartleggingsprogram over ett år for å fastslå om det er sannsynlig at *C. perfringens* vil kunne forekomme i råvannet eller ikke. Dersom man gjennom kartleggingen ikke påviser CP, blir kvalitetsnivået B. Dersom man påviser CP, blir kvalitetsnivået C. Alternativt kan man velge "føre var" linjen og ta utgangspunkt i kvalitetsnivå C direkte og dermed unngå å gjennomføre kartleggingsprogrammet.



Figur 1. Bestemmelse av kvalitetsnivå

Dersom man ikke har funnet CP i den historiske registreringen, men finner sporer av CP i kartleggingsperioden, skal man straks igangsette undersøkelser også mht parasitter (P), dvs *Cryptosporidium* og *Giardia*, i den videre kartleggingen (se prikket linje i Figur 1). Finner man ikke parasitter, faller man ned på kvalitetsnivå C. Dersom man allerede i den historiske registreringen finner CP, skal man i tillegg til undersøkelser mht sporer av *C. parfringens* også gjøre undersøkelser mht *Cryptosporidium* og *Giardia* fra starten av. Kvalitetsnivået gjøres da avhengig av cyste-konsentrasjonen og kvalitetsnivået vil da bli C eller Da-c. Tallverdiene refererer seg her til summen av registrerte cyster/oocyster av de to parasittene. På denne måten får vi i definisjonen av kvalitetsnivået både situasjonen hvor man bare finner *Cryptosporidium*, bare *Giardia* eller begge deler.

Det kan argumenteres for at disse to parasittene er så forskjellige at de bør behandles hver for seg. For registrering av kvalitetsnivå tror vi imidlertid ikke at det er nødvendig. Også for denne situasjonen kan man velge "føre var" linjen og unngå kartleggingsperioden dersom man legger seg på det strengeste kvalitetsnivået, dvs Dc.

Prosedyren er tenkt lagt opp på samme måte for alle anleggsstørrelsene, men definisjonen av kvalitetsnivå gjøres avhengig av anleggsstørrelsen, se tabell 3, ettersom risikosituasjonen er avhengig av anleggsstørrelse. Når det gjelder omfanget av kartleggingen, har vi valgt å gjøre denne uavhengig av vannverksstørrelse, se tabell 2, men frekvensen av prøver bør gjøres til gjenstand for diskusjon. Den kan for eksempel knyttes opp mot en risikoanalyse.

Prøveomfang	Grunnvann	Innsjø	Elv/bekk
< 1000 personer	1 prøve/mnd	1 prøve/mnd	1 prøve/mnd
1000 – 10000 personer	2 prøver/ mnd	2 prøver/mnd	2 prøver/mnd
>10000 personer	4 prøver/mnd	4 prøver/mnd	4 prøver/mnd

Tabell 2. Prøveomfang i ett-års kartleggingen

Det må også klargjøres hvordan forekomstkriteriene (> 0 EC, > 0 CP osv) skal forstås. Skal de være absolutte eller skal det gis rom for sporadiske funn. Vi foreslår at kriteriene skal forstås slik at maksimalt én av 12 prøver kan være dårligere enn det oppsatte kriteriet.

Bestemmelse av barrierehøyde

Det må defineres nærmere hva som

ligger i kvalitetsnivå kategorisert ved rubrikkene A, B, C og Da-c. Vi har valgt å karakterisere barrierehøyden som det sett av log-reduksjoner for de ulike organismegrupper som anlegget må håndtere - totalt sett - ved et gitt kvalitetsnivå. Dette er anskueliggjort i tabell 3 hvor for eksempel angivelsen 5b + 5v + 2p, betyr 5 log mht bakterier, 5 log mht virus og 2 log mht parasitter.

	Vannverks- størrelse (personer)	Kvalitetsnivå for vannkilde			
		A	B	C	D
Barrierehøyde (nødvendig log-reduksjon i vannverk totalt)	1. <1000	3b + 3v + 0p	4b + 4v + 0p	4b + 4v + 1p	a. 4b + 4v + 2p b. 4b + 4v + 3p c. 4b + 4v + 4p
	2. 1000 – 10.000	4b + 4v + 0p	5b + 5v + 1p	5b + 5v + 2p	a. 5b + 5v + 3p b. 5b + 5v + 4p c. 5b + 5v + 5p
	3. >10.000	5b + 5v + 1p	6b + 6v + 2p	6b + 6v + 3p	a. 6b + 6v + 4p b. 6b + 6v + 5p c. 6b + 6v + 6p

Tabell 3. Sammenheng mellom barrierehøyde, anleggsstørrelse og kvalitetsnivå

Tabellen angir barrierehøyden, dvs hvor stor log-reduksjon man skal ta utgangspunkt i ved beregningen av den nødvendige log-reduksjon i slutt-desinfeksjonen i det aktuelle vannverk. Nødvendig log-reduksjon som slutt-desinfeksjonen må klare, fremkommer etter fradrag for den log-

kreditt som tiltak i nedslagsfelt og vannkilde, samt vannbehandling ut over slutt-desinfeksjonen vil gi.

Har man for eksempel et innsjøvannverk på 7.000 personer hvor man i den historiske registreringen har funnet både *E.coli* og *C. perfringens*, og i kartleggingsperioden har funnet i

middel >1 , men <3 parasitt-cyster per liter, faller man i kartleggingsnivå D2b. Man skal da ta utgangspunkt i en nødvendig log-reduksjon for hele anlegget på 5 log mht bakterier og virus og 4 log mht parasitter.

Det er åpenbart at det kan ligge an til diskusjoner om de barrierenivåene som her er foreslått, er de "korrekte". I forslaget i tabell 3 har vi prøvd å ta hensyn til "risikosituasjon" (eller egentlig konsekvensgrad) gjennom vannverksstørrelse og kvalitetsnivå basert på analyserte verdier. Barrierehøyden som man må møte, øker med vannverksstørrelse og med synkende kvalitetsnivå – særlig med tanke på parasitter som vi anser å representere den største utfordringen med hensyn til valg av metode og dimensjonering av sluttdeinfeksjonen.

Det er også brukt en viss grad av logikk. For de vannverk som havner i kvalitetsnivå D, som nok vil være de aller fleste overflatevannverk, er barrierenivået for D3a (anlegg >10.000 personer med registrert innhold av parasitter $>0,075<1,0$) satt til $6b + 6v + 4p$. Dette tilsvarer det som i veiledningen til drikkevannsforskriften er definert som "to hygieniske barrierer", ettersom én hygienisk barriere der er definert som minst 3 log for bakterier og virus og 2 log for parasitter.

Tabell 3 gir imidlertid et sett av andre barrierehøyder avhengig av den faktiske situasjonen. For eksempel vil et lite grunnvannsværk hvor det aldri er registrert verken *E.coli* eller *C. perfringens*, få en barrierehøyde på $3b + 3v + 0p$ ettersom det er svært lite sannsynlig at det vil kunne fore-

komme parasitter i et grunnvannsværk med så god hygienisk kvalitet. I tillegg blir konsekvensen av en epidemi liten som følge av anleggets beskjedne størrelse.

Det er foreslått at man i tillegg skal ta hensyn til hvilke barrieretiltak som gjøres i nedslagsfeltet og i vannbehandlingen. Disse tiltakene gis en verdi i form av log-reduksjon som kommer til fradrag fra det som er bestemt som nødvendig log-reduksjon totalt, og er derfor her kalt log-kreditt for tiltak i nedslagsfeltet hhv vannbehandlingen.

Log-kreditt for tiltak i nedslagsfelt og vannkilde, avhengig av "sårbarhets-situasjon"

Vi foreslår at det kan gis log-kreditt for tiltak i nedslagsfelt og vannkilde, avhengig av "sårbarhetssituasjon" (vannkildetype). I de tilfeller hvor man planlegger et vannverk, kan log-kreditt gis for planlagte tiltak. For eksisterende vannverk kan log-kreditt gis for tiltak i nedslagsfelt og vannkilde som går utover de tiltak som allerede var igangsatt da registrering av vannkvalitet og det eventuelle kartleggingsprogrammet ble gjennomført. For grunnvann i kvalitetsnivå A gis det imidlertid log-kreditt for allerede utførte tiltak. Bakgrunnen for dette er at man allerede har beste kvalitetsnivå og laveste sårbarhetsnivå, og da bør allerede utførte tiltak gis log-kreditt siden de har vært med på å skape denne gunstige situasjonen.

For nedslagsfelt og vannkilde er det foreslått at man kan få den log-kreditt som er vist i tabell 4. Det er svært

mange tiltak som kan komme på tale her, og den oversikten som gis nedenfor pretenderer ikke på noen måte å være fullstendig. Listen kan forlenges etter hvert som forslag til aktuelle tiltak fremkommer. For elv og bekk foreslås det ingen log-kreditt uansett tiltak, og det er dermed heller ikke noe poeng å gjøre spesielle tiltak. Dette begrunnes med at vi har å gjøre med rennende vann og muligheter for rask spredning i en kontaminerings-situasjon.

Beskrivelsene for grunnvann tar utgangspunkt i genuint grunnvann (se over). Er det snakk om planlegging av et vannverk basert på kunstig grunnvannsinfiltrasjon, må man ta utgangspunkt i den overflatevannkilden som brukes og så gi log-kreditt for den kunstige grunnvannsinfiltrasjonen

(som et tiltak for å bedre den hygieniske kvaliteten). Alternativt må man ta utgangspunkt i den råvannskvaliteten man har etter grunnvannsuttaget.

Dersom man tar utgangspunkt i råvannskvaliteten for overflatevannet, foreslås det at man kan gi følgende log-kreditt for kunstig grunnvannsinfiltrasjon, se tabell 5. De verdiene som her er foreslått, må kvalitets-sikres i videreføringen av dette prosjektet. Det forutsettes at oppholdstiden i mettet og umettet sone kan sannsynliggjøres ved hydrogeologiske undersøkelser. Som nevnt tidligere, regnes vann fra kunstig grunnvannsinfiltrasjon med mindre enn 3 døgns oppholdstid i grunnen ikke som grunnvann.

Kildetype	Log-kreditt
Grunnvann Inngjerdning av brønnsone Båndlegging av aktivitet i tilsigsområdet Byggeforbud, forbud mot næringsvirksomhet Forbud mot utslipp Begrensninger i ferdsel Begrensning i bruk av tilsigsområde som beitemark Maksimal log-kreditt for grunnvann	1b + 1v + 1p 2b + 2v + 1p 3b + 3v + 2p
Innsjø Begrensning i aktivitet i kilden (bading, vannsport etc) Båndlegging av aktivitet i nedslagsfeltet Forbud mot utslipp i nedslagsfelt og til kilde Byggeforbud, forbud mot næringsvirksomhet Begrensninger i ferdsel Begrensning i bruk av nedslagsfelt som beitemark Maksimal log-kreditt for innsjøvann	1b + 1v + 0p 2b + 2v + 1p 3b + 3v + 1p
Elv og bekk	0b + 0v + 0p

Tabell 4. Forslag til log-kreditt for tiltak i nedslagsfelt og kilde

Det infiltrerte vannets oppholdstid i mettet og umettet sone	Log-kreditt
> 60 døgn	3b + 3v + 3p
30 – 60 døgn	2b + 2v + 2p
10 – 30 døgn	1b + 1v + 1p
3 – 10 døgn	1b + 0v + 1p

Tabell 4. Log-kreditt for kunstig infiltrasjon av overflatevann

Det kan være grunn til å vurdere om man skal gi log-kreditt knyttet til det å flytte et inntak i en innsjø til et dypere nivå. Dette er imidlertid ikke åpenbart ettersom man for eksempel har registrert bakteriesporer selv på store dyp. I en fremtidig mer utførlig analyse av disse spesifikasjonene, må man vurdere om man skal gi spesiell kreditt for inntaksdybde (og evt innsjøens oppholdstid), men det vil føre for langt å gå inn i det på dette stadiet.

Det er åpenbart at det må arbeides vesentlig mye mer med spesifikasjonene for log-kreditt i nedslagsfeltet og vannkilde, og at det er umulig her å komme fram til absolutt ”korrekte” verdier. Dette må man komme tilbake til dersom det viser seg at forslaget til prosedyre får oppslutning. Vi tror likevel et opplegg med log-kreditt som foreslått her, vil lette behandlingen vesentlig i forhold til å gjøre egne vurderinger basert på anvisningene i veiledningen til drikkevannsforskriften.

Log-kreditt for vannbehandling

Når det gjelder log-kreditt i vannbehandlingen, vil vi skille mellom prosesser som tilsier log-kreditt som en følge av vannbehandling der mikroorganismene fjernes som partikler og de som skyldes desinfeksjon som foregår før sluttdeinfeksjon (for

eksempel ozoneringen i ozonering/biofiltreringsanlegg). I tabell 6 som gjelder metoder basert på partikkelfjerning av mikroorganismer, har vi tatt med metoder basert på sandfiltrering (med og uten koagulering) og membranfiltrering (med og uten koagulering). Det er sannsynlig at filtreringsmetoder som ionebytting, aktivkullfiltrering og marmorfiltrering kan gis samme kreditt som hurtigsandfiltrering (forutsatt filterhastighet < 7,5 m/h), dvs en meget beskjeden inaktiveringskreditt.

Begrunnelsene for de verdiene som er satt, er sammensatte og bygget delvis på skjønn og logikk, delvis på rapporterte resultater i litteraturen og delvis på anbefalinger nedfelt i den eksisterende veiledning til drikkevannsforskriften. Ettersom denne forutsetter to uavhengige hygieniske barrierer, foreslår vi at man for en prosess maksimalt kan gi en log-kreditt på 3b + 3v + 2p ettersom disse verdiene i veiledningen angis som én hygienisk barriere og ettersom det i veiledningen er krav til at minst én barriere skal ligge i sluttdeinfeksjonen. Hvis kravet til barrierehøyde er større enn 4p, kan enkelte prosesser gis mer enn 2 log-kreditt for parasitter (se Tabell 6) forutsatt at man fortsatt har to uavhengige hygieniske barrierer (2p + 2p).

Vannbehandlingsmetode	Log-kreditt ⁴
Hurtigsandfiltrering uten koagulering (filterhastighet < 7,5 m/h)	0,5b + 0v + 0,5p
Langsomsandfiltrering (filterhastighet < 0,5 m/h)	2b + 1v + 1p
Koagulering/direkte sandfiltrering	3b + 2v + 2p
Koagulering + sedimentering (evt flotasjon) + filtrering ¹	3b + 2v + 2,5 p
Koagulering/ultrafiltrering ²	3b + 2v + 3p
Nanofiltrering ³	3b + 3v + 3p

1 Forutsatt turbiditet ut < 0,1 NTU

2 Forutsatt nominell poreåpning på membran < 100 nm

3 Forutsatt nominell poreåpning på membran < 10 nm

4 En 3 log-kreditt på parasitter forutsetter at man vil ha en parasittbarriere (2 log) et annet sted i systemet. Hvis ikke gis det kun en 2 log-kreditt på parasitter.

Tabell 5. Bestemmelse av log-kreditt i vannbehandlingsanlegg med god partikkel-separasjon

Koagulering/filtrering (evt med mellomliggende sedimentering/flotasjon) er i de fleste land regnet som en god barriere. Fjerningen av virus må regnes som noe dårligere enn for de større organismene. Nanofiltrering gir en sikker separasjon av alle organismegrupper forutsatt at membranene er intakte. Man vil vanligvis oppleve en høyere barriereeffekt enn den som er nedfelt i Tabell 6, men man skal av grunner som er angitt over, ikke regne med høyere verdier i den prosedyre som her er foreslått.

I anlegg basert på ozonering/biofiltrering er det utvilsomt ozoneringen som gir den primære inaktiveringen, mens bidraget fra biofilteret er lite. For denne metoden foreslås det at man beregner log-kreditten for ozoneringssteget ut fra den aktuelle Ct-verdi. Ved de doser som benyttes for humusfjerning (1 – 1,5 mg O₃/mg TOC_{råvann}), vil beregnet log inaktivering for *Giardia* kunne bli høy (> 3 log), men lavere for *Cryptosporidium* (< 2 log).

Bestemmelse av nødvendig log-reduksjon i sluttdeinfeksjonen

Når man har den totalt nødvendige log-reduksjon, samt de tiltak som er forutsatt i nedslagfelt/kilde og annen vannbehandling enn sluttdeinfeksjon, kan man finne ut hvilken log-reduksjon sluttdeinfeksjonen må klare av ved å subtrahere fra barrierehøyden (nødvendig log-reduksjon) i utgangspunktet, bestemt gjennom Tabell 3, den log-kreditt som man har fått ved tiltak i nedslagsfeltet/kilden og den man har fått pga annen behandling enn sluttdeinfeksjonen.

Konklusjoner

- Det er behov for en prosedyre eller metode som kan lede planleggere av vannverk, saksbehandlere i drikkevannsforvaltningen og vannverkseiere, frem til hva som i et aktuelt vannverk vil være "best practice" for å sikre tilstrekkelige hygieniske barrierer. Det som her er lagt frem, er et forslag til en slik prosedyre.

- Det er nødvendig å arbeide videre med forslaget for å kvalitetssikre de kvantitative verdier som er foreslått
- Det ville være ønskelig om også de andre nordiske land gjorde en vurdering av prosedyren

Referanser

Ødegaard, H., Fiksdal, L. og Østerhus, S.W. (2006) Optimal desinfeksjonspraksis. NORVAR-rapport 147/2006, NORVAR

Robertson, L. J. og Gjerde, B. (2001) Occurrence of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in raw waters in Norway. Scand J Public Health 29 200 - 7.