

Modeller for vurdering av vannkilden som hygienisk barriere

Av Lars J. Hem

Lars J. Hem er dr.ing. og seniorforsker ved SINTEF

Innlegg fra fagtreff i Vannforeningen 5. november 2007

Sammendrag

Det finnes mange ulike modeller for vurdering av den hygieniske sikkerheten i vannforsyningsystemer. Disse modellene inkluderer vanligvis både forhold i kilden og vannbehandlingsanlegget. For norske forhold er det foreslått en modell for vurdering av kilden som hygienisk barriere, og det er også foreslått hvordan tiltak i kilde og nedbørfelt kan integreres i en eksisterende log-kreditt modell for vannbehandling.

Modeller er et supplement til faglige vurderinger innen risikovurdering, hydrologi osv., og modellene må ikke forstås som en erstatning for slike vurderinger.

Abstract

Many models are used for evaluation of the hygienic barriers in water supply. These models usually include

both the raw water source and water treatment. There is proposed a model for evaluation of the raw water source as a hygienic barrier in Norwegian waterworks, and how corrective actions in the source or the catchment area can be integrated in a log credit model for evaluation of the entire water supply.

Models can be supplementary to more thorough evaluations of risk assessment, hydrology etc., and the models must not be regarded as an alternative to such evaluations.

Hva er en hygienisk barriere?

Erfaringer i Norge gjennom mange år med vannbårne sykdomsutbrudd har vist at råvannskilder (både overflatevann og grunnvann) har blitt forurenset av ulike årsaker. Ved vannverk som har installert vannbehandling

med blant annet desinfeksjon, er det også en rekke eksempler på at det har oppstått svikt i vannbehandlingen (Gjerstad, 2004). Med bakgrunn i denne erkjennelsen er det nedfelt i § 14 i drikkevannsforskriften at godkjenningspliktige vannverk skal ha minimum 2 hygieniske barrierer (HOD, 2004). I den tilhørende veilederen (Mattilsynet, 2005) til forskriften er det lagt stor vekt på å definere og forklare hva begrepet ”2 hygieniske barrierer” innebærer.

Det har i mange år vært presisert viktigheten av å velge råvannskilder med minst mulig forurensning og best mulig beskyttelse. I Norge der man har god tilgang på vannkilder med moderat eller liten forurensningsbelastning, har det vært vanlig at den ene barrieren søkes etablert i råvannskilden med tilhørende nedbørfelt, mens den andre barrieren ofte utgjøres av et desinfeksjonstrinn.

Drikkevannsforskriften stiller krav om at vannverkseier skal påse at det gjennomføres nødvendig beskyttelse av vannkilden mot forurensning av drikkevannet (HOD, 2004). Veilederen til drikkevannsforskriften (Mattilsynet, 2005) og Vannforsyningens ABC (FHI, 2004) gir mer utfyllende forklaring til hva som ligger i begrepet nødvendig beskyttelse, beskriver hvordan slik beskyttelse kan gjennomføres, samt omhandler hvilke forhold en må ta i betraktning når en skal vurdere om kilden kan utgjøre noen hygienisk barriere.

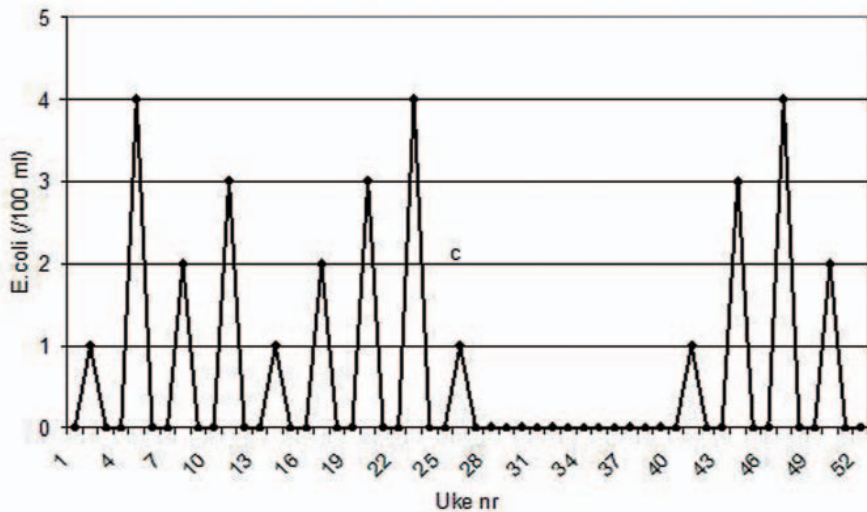
Det er et grunnleggende prinsipp i norsk vannforsyning og drikkevannsforsyning at man tilstreber å benytte råvannskilder som fra naturens side

har en god vannkvalitet og i liten grad er utsatt for forurensning. Det optimale er totalt fravær av enhver forurensende menneskelig aktivitet, herunder husdyrhold. Selv i en slik situasjon vil imidlertid tilstedeværelse av ville dyr og fugler gjøre det nødvendig å vurdere kilden og inntak med hensyn på i hvilken grad det er fare for forurensning av patogene organismer som kan påvirke vannkvaliteten ved inntaket.

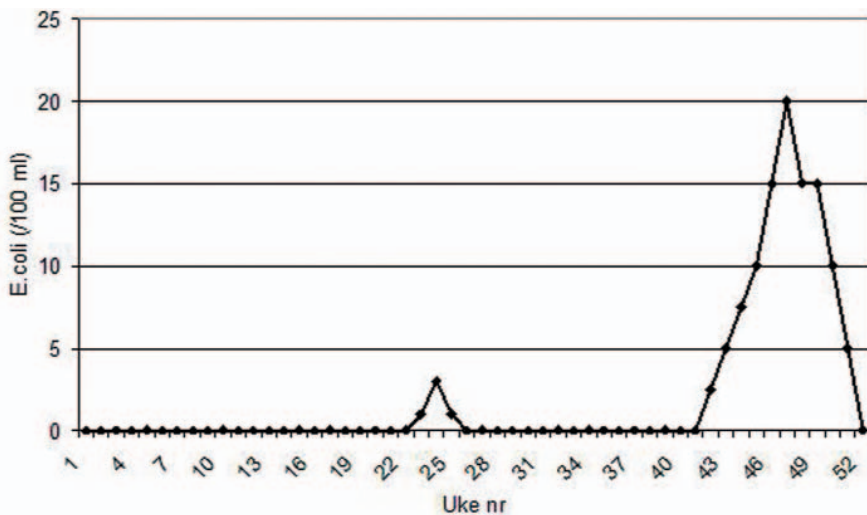
En vurdering av vannverkene hygieniske barrierer må generelt ta hensyn til både kilde, vannbehandling, ledningsnett og nødvendig barrierehøyde. Sistnevnte er gjerne tatt hensyn til i det skjønnet som er utøvd som en del av godkjenningsprosessen for vannverket.

Det er betydelige variasjoner i vannkvaliteten ved råvannsinntaket i en rekke vannkilder som funksjon av årstid og temperatur, vind og nedbør. Én av de vanligste årsakene til variasjonene er totalomblending i vannkilden vår og høst, som gjør at overflatevann kommer ned til inntaket. Et annet forhold som kan gjøre at overflatevann kommer ned til inntaket er kraftig vind, som kan gjøre at sprangsjiktet senkes betydelig i den ene enden av vannkilden, noe som er en reell problemstilling blant annet i Norsjø (Mosevoll, 2007).

I figur 1 og 2 er det vist hvordan innholdet av *E.coli*/termotolerante koliforme bakterier varierer over året i råvannskildene Holsfjorden og Mari-dalsvannet.



Figur 1. Typiske årstidsvariasjoner i innholdet av *E.coli*/termotolerante koliforme bakterier i ABVs råvann fra Holsfjorden (etter Bjerke, 2007)



Figur 2. Typiske årstidsvariasjoner i innholdet av termotolerante koliforme bakterier i Oslos råvann fra Maridalsvannet (etter Kristiansen, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004)

Råvann fra 50 m dyp i Holsfjorden har et innhold av *E.coli*/termotolerante koliforme bakterier under 5 pr. 100 ml. Med unntak av perioden fra midten av juli til midten av oktober må en forvente at *E.coli*/termotolerante koliforme bakterier er tilstede i vannet. I Maridalsvannet forekommer termotolerante koliforme bakterier i liten grad i perioden fra tidlig januar til midten av oktober, mens konsentrasjonene i årets to siste måneder kan være høye. Dette viser at det er betydelige forskjeller mellom ulike kilder i samme geografiske område med hensyn til variasjonsmønsteret i innholdet av *E.coli*/termotolerante koliforme bakterier, og dette vil avhenge av en rekke ulike forhold knyttet til kilde, inntaksforhold og nedbørfelt. På denne bakgrunn er det grunn til å konkludere med at en hver råvannskilde også med hensyn på årstidsvariasjoner må betraktes som unik, og at det er vanskelig i generalisere med hensyn på forventet mikrobiologisk vannkvalitet.

HACCP

For å få kjennskap til forhold i nedbørfeltet og i kilden som kan påvirke råvannskvaliteten kan det utføres ulike typer analyser/undersøkelser. En slik fareanalyse utgjør også de første innledende arbeidene i analyse av farer for vannforsyningen og identifikasjon av kritiske kontrollpunkter (HACCP, Hazard Analysis and Critical Control Points). Utfyllende informasjon om HACCP kan en bl.a. finne på Mattilsynets sine hjemmesider (www.mattilsynet.no). Fareanalyse for nedbørfeltet/kilden kan

med fordel utføres som en del av en risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS-analyse) hvor en dokumenterer de ulike farer /uønskede hendelser som kan oppstå i nedbørfeltet/kilden.

Water safety plans

Kjennskap til forhold i nedbørfeltet og kilden er sentrale elementer i WHO's "Guidelines for Drinking-water Quality" (Water safety plans) (WHO, 2004).

For å få tilstrekkelig kjennskap til forhold i nedbørfeltet og kilden anbefales ofte følgende typer analyser:

- Registrering av forurensende aktiviteter i nedbørfeltet
- Limnologisk undersøkelse (kilde + innløp)
- Spredningsundersøkelser (simulering)
- Dynamisk dokumentasjon av råvannskvalitet

Hvor detaljert en går til verks for hvert enkelt punkt vil variere fra vannverk til vannverk avhengig av blant annet vannverkets størrelse, forhold knyttet til kilden, valgt ambisjonsnivå etc. Summen av de analysene en gjennomfører skal være tilstrekkelig til å gjennomføre en fareanalyse som står i et rimelig forhold til de konsekvensene en vil få som følge av svikt i den mikrobiologiske vannkvaliteten.

Skotske retningslinjer

Ulike land har ulike innfallsvinkler og prosedyrer for vurdering av den hygieniske sikkerheten knyttet til valg og beskyttelse av råvannskilden. Det er her valgt å gi en beskrivelse av det

systemet som benyttes i Skottland. Dette er gjort dels fordi Skottland på mange måter har råvannskilder som er sammenlignbare med norske kilder, i motsetning til situasjonen i mange andre land. Dette må ikke oppfattes dit hen at de skotske prosedyrene er de eneste som er tilfredsstillende, men tas som et uttrykk for at mange lands gode retningslinjer og prosedyrer ikke er egnet for tilpassing til norske forhold.

I Skottland har man innført spesielle drikkevanndirektiver for *Cryptosporidium* (Scottish Water, 2003). Disse inneholder blant annet krav til målemetodikk, måleopplegg og prøvetakingsfrekvens basert på vannverksstørrelse og en nærmere beskrevet risikovurdering av vannkilde og vannbehandling.

Risikovurderingen for overflatevannkilder tar utgangspunkt i en kartlegging/analyse av relevante forhold i vannkilde/nedbørfelt og i vannbehandlingen. Det gis poeng etter et

system som er nærmere beskrevet nedenfor. Følgende forhold er inkludert i vurderingen:

A. Vannkilde/nedbørfelt

Dyr/fugl

Jordbruksvirksomhet

Forurensende utslipp

Type vannkilde

Råvannsakvedukter

Inspeksjonsvirksomhet

Råvannsinntak/målinger

B. Vannbehandlingen

Type/omfang av vannbehandling

Måling/kontroll på vannbehandlingsanlegg

Drift av vannbehandlingsanlegg

For hvert av punktene nevnt over for vannkilde og vannbehandling gjennomføres en vurdering som vist i tabell 1 for punkt A1 som gjelder dyr og fugler i nedbørfeltet.

		Score
1.1	Tetthet av kyr/kalver i nedbørfeltet \leq 1 pr. hektar	6
1.2	Tetthet av kyr/kalver i nedbørfeltet $>$ 1 pr. hektar	12
1.3	Tetthet av sauer/lam i nedbørfeltet \leq 6 pr. hektar	6
1.4	Tetthet av sauer/lam i nedbørfeltet $>$ 6 pr. hektar	12
1.5	Kilden er ikke inngjerdet	4
1.6	Kilden er inngjerdet	-1
1.7	Hjortedyr	2
1.8	Grisefarm i nedbørfeltet	2
1.9	Stort antall fugler	2
1.10	Andre fugler/dyr	1

Score = (1.1 eller 1.2) + (1.3 eller 1.4) + (1.5 eller 1.6) + 1.7 + 1.8 + 1.9 + 1.10. Dersom bestandstettheten er ukjent, velges 1.2 og 1.4 fremfor 1.1 og 1.3, respektive.

Tabell 1. Risikovurdering – Seksjon A1. Dyr/fugler i nedbørfeltet

Etter en vurdering av alle relevante forhold i nedbørfeltet og vannbehandlingen summeres score for de 7 punktene som gjelder nedbørfelt og de tre punktene som gjelder behandling. Etter å ha summert poengtallene for vannkilde/nedbørfelt og vannbehandling, vektet summen ved å multiplisere med et tall som er en funksjon av vannverksstørrelsen. Dersom denne summen blir > 100 vurderes risikoen i vannforsyningen som stor, ved en sum 50 til 100 er risikoen moderat, og ved en sum < 50 er risikoen liten. Én konsekvens av at risikoen vurderes som høy er at overvåkingen av vann-

kvaliteten må intensiveres i forhold til ved vannverk med lav risiko.

Prosedyrer for risiko-vurdering av små vannforsyningssystemer i Australia

Som et tillegg til de australske drikkevannsnormene (Australian Government, 2005) finnes et analyseverktøy for risikovurderinger av vannforsyningssystemer. Verktøyet er primært utviklet for små vannforsyningssystemer, og bør som sådan ha interesse for norske forhold. Følgende forhold er inkludert i vurderingene:

Tabell 2 viser den rangeringen som er benyttet for å vurdere risiko knyttet til vannkilden.

	Modul	Risiko
	Kilde	
1.1	Innsjø	-3
1.2	Elv	-3
1.3	Brønn	0
1.4	Oppkomme	-2
1.5	Infiltrasjonsbrønn	-4
1.6	Regnvann	-1
1.7	Sjøvann	-1
1.8	Tilkjørt vann	0
	Forurensningskilder	
2.1	Landbruk – overflatevannskilde	-7
2.2	Landbruk - grunnvannskilde	-5
2.3	Industri/gruvedrift – overflatevannskilde	0
2.4	Industri/gruvedrift - grunnvannskilde	0
2.5	Bosetting – overflatevannskilde	-10
2.6	Bosetting - grunnvannskilde	-8

Tabell 2. Risikorangering (scores) for forhold knyttet til vannkilde anvendt i den australske modellen for vurdering av risiko i små vannforsyningssystemer (Australian Government, 2005)

- Type kilde/nedbørfelt
- Aktiviteter i nedbørfeltet
- Reservoarer/bassenger/dammer
- Vannbehandling
- Bassenger/distribusjonssystem
- Forbrukere/abonnenter

Vurderingen er relatert til mikrobiell vannkvalitet og er selvsagt kun av veiledende karakter. En positiv totalscore for vurdering av alle forhold knyttet til vannforsyningen, det vil si inkludert vannbehandling, bassenger og distribusjonssystem, tilsier at vannforsyningssystemet representerer en hygienisk barriere som gir beskyttelse mot kontaminering eller evner å fjerne mikrobielle risikoer. En negativ totalscore angir på den annen side at vannforsyningssystemet representerer en potensiell kilde for patogene mikroorganismer, og at systemet bør oppgraderes.

En score på null eller høyere indikerer at systemet innehar tilstrekkelige barrierer/prosesser for å gi en mikrobiologisk sikker vannforsyning – forutsatt en god drift.

NORVAR-prosjektet Optimal desinfeksjonspraksis

I rapporten Optimal desinfeksjonspraksis (Ødegaard et al., 2006) ble det foreslått en metode for beregning av nødvendig barrierehøyde ut fra råvannskvalitet og anleggsstørrelse, samt at det ble foreslått forventet log-reduksjon av ulike patogene mikroorganismer i relevante vannbehandlingsprosesser. Modellen kan illustreres som vist i figur 3.



Figur 3. Modell for beregning av nødvendig barrierehøyde i vannbehandlingen når en ikke forutsetter nye tiltak i kilden eller nedbørfeltet

Det ble i rapporten også forslått hvilken log kreditt en kan forvente ved ulike tiltak i kilde og nedbørfelt, og effektive tiltak vil da kunne redusere kravene til vannbehandling. Det er presisert i rapporten at vurderingene av kilde og nedbørfelt kun var innledende, og at dette måtte vurderes nærmere.

Et forslag til modell for vurdering av vannkilden som hygienisk barriere

NORVAR-prosjektet Vannkilden som hygienisk barriere diskuterer en rekke forhold knyttet til overflatevann som råvannskilde, og inkluderer også to forslag til modeller (Hem et al., 2008). Den første modellen er ment for en vurdering av i hvilken grad kilden kan utgjøre en hygienisk barriere, mens den andre er ment som et supplement til modellen i Optimal desinfeksjonspraksis. Det må presiseres at dette er et **forslag** til modell, og at erfaringer med bruk av modellen kan gjøre det

nødvendig å justere modellen både med hensyn til de forholdene en tar hensyn til og vektingen mellom de ulike momentene.

Når det skal etableres et kriteriesett for overflatevannkilder som hygieniske barrierer, er det noen forutsetninger som må ligge til grunn:

- For det første kan kilden maksimalt utgjøre én barriere mot bakterier, virus og parasitter, slik at vannbehandlingen uansett minst må utgjøre én barriere.
- For det andre må vannverkets størrelse påvirke enten antall barrierer en totalt skal ha i kilde og vannbehandling eller hvordan en skal vurdere kilden. Med bakgrunn i Drikkevannsforskriftens (HOD, 2004) entydige angivelse av at kilde og behandling skal utgjøre minst to barrierer synes det mest hensiktsmessig å trekke vannverkets størrelse inn i vurderingen av kilden.
- For det tredje må kriteriesettet være anvendelig for de fleste vannverkene, noe som i mange tilfeller innebærer at det foreligger få eller ingen analyser av *Giardia*, *Cryptosporidium*, andre parasitter, virus, *Salmonella* etc.
- For det fjerde må den delen av kriteriesettet som omhandler mikrobiologisk vannkvalitet, inkludere organismer som er relevante indikatorer for humanpatogene organismer, og for noen indikatorparametre som koliforme bakterier er det i mange tilfeller grunnlag for å hevde at verdiene er representative for naturlig forekommende bakterier som ikke er patogene (Solem,

2007). Det må dessuten være klarlagt hvilke nivåer av en indikatororganisme som vil kunne gi sykdom, noe som i mange tilfeller ikke er entydig.

Ved utarbeidelsen av kriteriesettet som er beskrevet under, ble det først vurdert om en kunne vurdere å gi logkreditt for tiltak i nedbørfelt og kilde ved et vannverk med en historisk bestemt vannkvalitet, og på denne måten redusere behovet for vannbehandling, dvs. en videreføring av forslaget beskrevet av Ødegaard et al. (2006). Fordi en gjennomgang av mikrobiologisk vannkvalitet versus ulike typer kilder, tiltak i nedbørfeltet, inntaksdyp med mer viste at effekten av tiltak, inntaksdyp mm åpenbart varierer fra kilde til kilde, er det i stedet forsøkt med en annen tilnærming. Det forutsettes da at både en akseptabel vannkvalitet og et akseptabelt nivå på kildebeskyttelsen må være til stede for at en råvannskilde skal kunne vurderes som en hygienisk barriere. En konsekvens av dette er at en forventet positiv effekt av tiltak på vannkvaliteten må dokumenteres før en kan ta hensyn til dette.

Nedenfor er vist et forslag til kriteriesett, der det tas hensyn til følgende forhold:

- Historisk mikrobiologisk vannkvalitet
- Kilden, nedbørfeltet og vanninntak
- Overvåkning av råvannskvalitet og avhjelpende tiltak ved avvik
- Vannverkets størrelse

Alle de tre førstnevnte forholdene må være tilfredsstillende for at en kilde skal kunne bli vurdert som en hygienisk barriere.

Kriteriesettet er satt sammen på en slik måte at graden av barriere for kriterium 1, 2 og 3 kan vurderes på en skala fra 0 til 10, der 0 betyr ingen barriere.

Det må presiseres at det her forutsettes at en i utgangspunktet har en råvannskvalitet som er godt egnet for vannforsyning, og at det vurderes i hvorvidt kvaliteten er så god at kilden kan sies å utgjøre én hel eller en del av en hygienisk barriere. For relativt dårlige råvannskilder må en i tillegg vurdere om vannbehandlingen bør omfatte mer enn to hygieniske barrierer for å gi en hygienisk sikker vannforsyning.

Historisk mikrobiologisk vannkvalitet

Ved vurdering av historisk mikrobiologisk vannkvalitet forutsettes det minst månedlige prøver for analyse av koliforme bakterier i 3 år, samt en hyppighet for prøvetaking og analyse av parasitter som gir et representativt bilde av råvannskvaliteten. Ved vurdering av nivåer for patogene organismer og indikatororganismer er det tatt utgangspunkt i Veilederen til drikkevannsforskriften (Mattilsynet, 2005). I henhold til Veilederen **kan** sporadiske funn av inntil 3 termotolerante koliforme bakterier pr. 100 ml og inntil 1 *Giardia* eller *Cryptosporidium* være akseptabelt. I kriterium nr. 1 er termotolerante koliforme bakterier benyttet som indikator på patogene bakterier og virus, mens *Giardia* + *Cryptosporidium* er benyttet som indikator på parasitter.

Det er tatt høyde for at feilanalyse kan forekomme ved at det ses bort fra inntil 3 % av prøvene, hvilket tilsvarer én prøve i løpet av en treårsperiode med 12 prøvetakinger pr. år.

Det er som et utgangspunkt forutsett at prøvene tas jevnt fordelt over året, og at % av antall prøver er representativt for % av tiden. Dersom prøvetakingen intensiveres i perioder med dårlig vannkvalitet bør % av prøver erstattes med % av tiden.

Dersom prøvetaking etter forskriften er foretatt over en periode på mindre enn 3 år, skal verdien korrigeres med en faktor på $x/3$, der x er antall hele år det foreligger data for. Dersom en ikke har data for et helt år, skal verdien settes lik null fordi en da ikke vet om en har prøvetatt den minst gunstige perioden i året.

Dersom manglende analyser av parasitter gjør det umulig å bestemme kriterium 1.2, noe som trolig er tilfelle for en rekke vannverk, settes kriterium 1.2 lik kriterium 1.1.

Kriterium 1 er:

K1 = kriterium 1.1 for bakterier og virus

K1 = kriterium 1.2 for parasitter og bakteriesporer

Kriterium 1 er ment benyttet på den måten at en enten skal vurdere barriereeffekt overfor bakterier og virus eller overfor parasitter.

Kilden og vanninntak

En rekke ulike forhold knyttet til vannkilde og vanninntak kan påvirke kilden som hygienisk barriere. Svært forenklet kan det deles inn i forurens-

Kriterium		Verdi
1.1 <i>E.coli</i>	Ikke påvist i mer enn 3 % av prøvene	10
	Påvist ($\geq 1/100$ ml) i mer enn 30 % av prøvene	0
	$>10/100$ ml påvist i mer enn 3 % av prøvene	0
	Påvist i < 30 % av prøvene og $>1/100$ ml ikke påvist i mer enn 3 % av prøvene	8
	Påvist i < 30 % av prøvene og $>1/100$ ml påvist i mer enn 3 % av prøvene, men $>3/100$ ml ikke påvist i mer enn 3 % av prøvene	7
	Påvist i < 30 % av prøvene, $>3/100$ ml påvist i mer enn 3 % av prøvene, men $>10/100$ ml ikke påvist i mer enn 3 % av prøvene	3
1.2 Sum av <i>Giardia</i> og <i>Cryptosporidium</i>	Ikke påvist i mer enn 3 % av prøvene eller dokumentert fravær av forurensningskilder ¹	10
	Påvist i mer enn 30 % av prøvene	0
	$>3/10$ l påvist i mer enn 3 % av prøvene	0
	Påvist i < 30 % av prøvene og $>1/10$ l ikke påvist i mer enn 3 % av prøvene	7
	Påvist i < 30 % av prøvene, >1 l påvist i mer enn 3 % av prøvene og $>3/10$ l ikke påvist i mer enn 3 % av prøvene	3

¹⁾ Dersom *E.coli* og *Clostridium perfringens* er fraværende antas det at også parasittene er fraværende

Tabell 3. Kriterium 1. Merk at grad av barriere skal beregnes for enten bakterier og virus eller for parasitter, og derfor skal enten kriterium 1.1 eller kriterium 1.2 benyttes, ikke begge.

ningstilførsel, fordrøyning og temperatursprangsjikt, samt andre hydrologiske forhold.

Forurensningstilførsel til nedbørfeltet, tilløpsbekker etc. vil kunne påvirke den mikrobiologiske vannkvaliteten. I hvilken grad slik påvirkning vil skje, avhenger av forurensningens art og mengde, topografi, vegetasjonsdekke og jordsmonn, og ikke minst nedbørfeltets størrelse og hvor i feltet forurensningen kommer. Med nedbørfelt menes i det nedenstående de områdene med direkte avrenning til kilden eller tilløpsbekker.

En undersøkelse av råvannsdata fra mange norske vannverk viste at det var vanskelig å påvise noen sammenheng mellom ulike tiltak, inntaksdyp med mer og den resulterende mikrobiologiske vannkvaliteten. Noe som derimot synes åpenbart, er at utslipp av avløpsvann i nedbørfeltet, beitedyr nær kilden og generell høy aktivitet i kilde og nedbørfelt øker risikoen knyttet til bruken av kilden som råvann. Kriterium 2 er derfor primært knyttet til risikoen for at slik aktivitet kan medføre hendelser som forverrer råvannskvaliteten. Det er i tabellen

under tatt inn et fåtall kriterier som enten samsvarer med det som er ansett som god praksis eller som vurderinger av mikrobiologisk vannkvalitet i norsk råvann tilsier at har betydning. Hvilke parametre som inkluderes, og den interne vektleggingen mellom disse, er

noe en må forvente at vil bli diskutert i det norske VA-miljøet, og eventuelt justert som følge av en slik diskusjon.

I utgangspunktet bør kriterium 2 baseres på en risikovurdering av vannkilden, for eksempel en ROS-analyse eller en HACCP-analyse.

Kriterium		Verdi
2.1 Forurensningstilførsel til kilden	Ikke beitedyr ved kilden eller utslipp av avløpsvann direkte til kilden	10
	Hydrologiske undersøkelser av strømningsforhold i kilden har dokumentert at utslipp av avløpsvann eller avføring fra beitedyr vil bli tilstrekkelig tilbakeholdt og fortynnet	8
	Hydrologisk dokumentasjon mangler, men innsjøens størrelse og avstand til forurensningskilder tilsier en betydelig grad av tilbakeholdelse og fortynning.	5
	Utslipp av avløpsvann eller avføring fra beitedyr kan raskt nå inntaket ved uheldige værforhold	0
2.2 Forhold i nedbørfeltet	Ikke beitedyr eller utslipp av avløpsvann	10
	Restriksjoner som hindrer at beitedyr kommer nær kilden og som sikrer at avløpsvann ledes bort eller behandles til en vannkvalitet minst like god som ikke forurensede tilløpsbekker	5
	Ingen restriksjoner på beitedyr	3
	Utslipp i nedbørfeltet	0
2.3 Ferdse1	Restriksjoner som hindrer ferdse1 i/nær kilden	10
	Begrensninger i ferdse1 nær inntakssted	5
	Ingen begrensninger	0
2.4 Fordrøyning	Teoretisk oppholdstid > 2 år	10
	Teoretisk oppholdstid 1 mnd-2 år	5
	Teoretisk oppholdstid < 1 mnd	0
2.5 Inntak	Inntak i innsjø på dyp minst 30 m og der sprangsjiktet aldri når ned til inntaket utenom under høst- og vårsirkulasjon	10
	Inntak i innsjø under sprangsjiktet under normale værforhold	5
	Inntak over sprangsjikt, inntak i elv eller bekk	0

1) Gjelder kun bakterier og virus, ikke parasitter
Definert som minste vannføring i et normalår

Tabell 4. Kriterium 2

Kriterium 2 er:

$K2 = (\text{kriterium 2.1} + \text{kriterium 2.2} + \text{kriterium 2.3} + \text{kriterium 2.4} + \text{kriterium 2.5})/5$

Overvåkning av råvannskvalitet og korrigerende tiltak ved avvik

Dersom råvannskilden skal vurderes som en hygienisk barriere, eventuelt en delvis barriere, må råvannskvaliteten overvåkes hyppigere både for kontroll og dokumentasjon. Dersom råvannskvaliteten avviker fra det som er grunnlaget for barrierevurderingen bør det likeledes være mulig å iverksette tiltak, og under er en avstengning av uttaket av vann fra kilden, fortrinnsvis ved å skifte til en reservekilde, tatt inn som et effektivt tiltak selv om dette i praksis vil medføre store problemer ved mange vannverk. Å gå ut med anbefaling om koking er ansett som et tiltak som ikke bør inngå i planleggingen av vannverket, men

kun ved svikt i vannbehandling eller andre alvorlige hendelser.

Overvåkning av enkle parametre som temperatur (Skien vannverk) og turbiditet (Gøteborg VA-verk) er eksempler på at indikatorparametre er benyttet med hell for å få et tidlig signal om at en vannkvalitetsforverring er på gang.

Prøvetakingen bør være så hyppig at en får med seg variasjoner i vannkvalitet, noe som for enkelte vannkilder kan bety minst månedlig prøvetaking. Andre vannkilder kan ha en så stabil vannkvalitet at Drikkevannsforskriftens minstekrav vil være tilstrekkelig til å fange opp variasjoner, i hvert fall for store vannverk med krav om månedlig prøvetaking.

Kriterium 3 er:

$K3 = (\text{kriterium 3.1} + \text{kriterium 3.2} + \text{kriterium 3.3})/6 + 5$ såfremt summen av kriterium 3.1 + kriterium 3.2 + kriterium 3.3 > 0.

Kriterium		Verdi
3.1 Måling av temperatur, turbiditet eller annen egnet parameter for overvåking av endringer i råvannskvalitet	Montert, alarm ved unormale verdier	10
	Montert, uten alarm	5
	Ikke montert	0
3.2 Prøvetaking og analyse av E.coli med hyppighet	Minst månedlig	10
	Minst som for nettkontroll	5
	Sjeldnere enn for nettkontroll	0
3.3 Avhjelpende tiltak ved avvik i råvannskvalitet (temperatur, turbiditet eller E.coli)	Automatisk avstengning av uttak av vann fra kilden	10
	Manuell avstengning	8
	Økt vannbehandling (økt dosering i desinfeksjonstrinnet eller supplering med nødklorering)	5
	Ingen avhjelpende tiltak	0

Tabell 5. Kriterium 3

$K3 = 0$ dersom summen av kriterium 3.1 + kriterium 3.2 + kriterium 3.3 = 0.

Vannverkets størrelse

Vannverkets størrelse er tatt inn for å avspeile at en hendelse i et stort vannverk vil gi større konsekvenser enn en hendelse ved små vannverk. Kriterium 4 beregnes ved formelen

$$K4 = 1/\log_{10}(\text{antall}_- \text{personer}_- \text{som}_- \text{forsynes})$$

Oppsummerende vurdering

For vurdering av i hvilken grad kilden kan utgjøre noen hygienisk barriere benyttes følgende formel:

Grad av barriere = $K1 \cdot K2 \cdot K3 \cdot K4 / 100$, der verdier ≥ 1 tilsier en full barriere mens 0 tilsier ingen barriere.

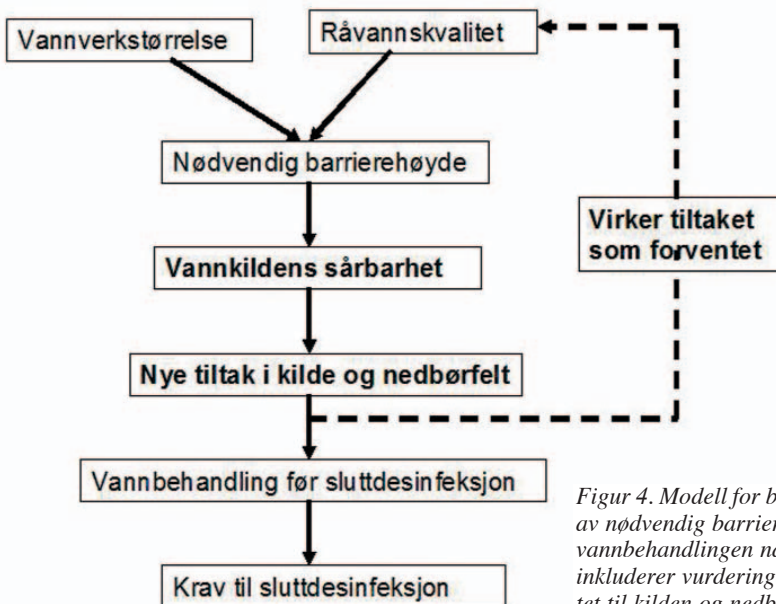
Merk at en først bør vurdere grad av barriere for bakterier og virus med formelen $K1.1 \cdot K2 \cdot K3 \cdot K4 / 100$, og

derne grad av barriere for parasitter med formelen $K1.2 \cdot K2 \cdot K3 \cdot K4 / 100$. Dette skillet er laget fordi enkelte steder har påvist E.coli uten at en har påvist parasitter, og grad av barriere derfor kan være høyere for parasitter enn for bakterier og virus.

Integrering av tiltak i vannkilden i en log-kreditt modell

Når egenskaper knyttet til vannkilden og nedbørfeltet, og spesielt nye tiltak i disse, skal inkluderes i modellen Optimal desinfeksjonspraksis, kan denne utvides til å være som i figur 4.

Den hygieniske barrieren som kan ligge i en råvannskilde vil variere fra ingen til en fullstendig barriere, og tilsynelatende likeverdige råvannskilder eller ulike inntak i samme kilde vil ikke nødvendigvis utgjøre den



Figur 4. Modell for beregning av nødvendig barrierehøyde i vannbehandlingen når en inkluderer vurderinger knyttet til kilden og nedbørfeltet

samme hygieniske barrieren. Det er også ofte vanskelig å tallfeste effekten av ulike tiltak for å begrense forurensningen av en råvannskilde, noe som delvis kan skyldes hydrologiske forhold og delvis at forurensningen av en kilde kan være kompleks slik at enkelttiltak ikke vil få den ønskede effekt på vannkvaliteten. Under vil det bli beskrevet et forslag til en beregning av log kreditt for enkelte tiltak som forventes å ha en effekt på råvannskvaliteten eller sårbarheten til vannkilden. Det må understrekes at dersom en ønsker å øke den hygieniske barrieren ved å gjennomføre tiltak i kilden eller nedbørfeltet, må en etter at tiltaket er gjennomført doku-

mentere at dette har fått den forventede effekt.

I tabell 6 er det angitt et forslag til initiell log-kreditt for ulike tiltak. Med initiell menes i denne sammenhengen at dette er tiltak som **kan** ha den angitte effekten, forutsatt at det problemet tiltaket er rettet mot er den dominerende årsaken til uønskede mikroorganismer i råvannet. Det må i denne sammenheng presiseres at det er en betydelig utfordring å fastslå alle kildene til slike mikroorganismer. Log kreditt er videre angitt ut fra en forventning om at ingen av tiltakene isolert sett vil kunne utgjøre en fullstendig hygienisk barriere.

Tiltak		Initiell log-kreditt
Reduksjon i forurensningstilførsel til kilden	Fjerning av beitedyr ved kilden og sanering av alle utslipp av avløpsvann direkte til kilden	2b+2v+1p
	Endret plassering av råvannsinntak, samt at hydrologiske undersøkelser har dokumentert at utslipp av avløpsvann eller avføring fra beitedyr vil bli tilstrekkelig tilbakeholdt og fortynnet	2b+2v+1p
Endrede forhold i nedbørfeltet	Fjerning av beitedyr og sanering av alle utslipp av avløpsvann	2b+2v+1p
	Innføring av restriksjoner som hindrer at beitedyr kommer nær kilden og som sikrer at avløpsvann ledes bort eller behandles til en vannkvalitet minst like god som ikke forurensede tilløpsbekker	1b+1v+1p
Restriksjoner på ferdsel	Innføre restriksjoner som hindrer ferdsel i/nær kilden	2b+2v+0p
	Innføre begrensninger i ferdsel nær inntakssted	1b+1v+0p
Endret inntak	Senke inntak i innsjø til minst et dyp som sikrer at sprangsjiktet aldri når ned til inntaket utenom under høst- og vårsirkulasjon samt økt beredskap i sirkulasjonsperiodene	2b+2v+1p
	Senke inntak i innsjø til under sprangsjiktet under normale værforhold, samt måling av temperatur, turbiditet eller annen egnet parameter for overvåking av endringer i råvannskvalitet og økt beredskap ved avvik i råvannskvalitet	2c+2v+1p

Tabell 6. Forlag til log-kreditt for tiltak i kilde og nedbørfelt. b=bakterier, v=virus og p=parasitter i angivelse av initiell log kreditt. Total log-kreditt for en overflatevannkilde kan ikke overstige $3b+3v+2p$.

Hva som bør ligge i en økt beredskap ved avvik i råvannskvaliteten vil variere avhengig av lokale forhold ved de ulike vannverk. Ideelt sett bør en slik beredskap enten bestå i at en skifter råvannskilde, at en har et mellomlager av råvann slik at en kan stanse inntak av potensielt forurenset råvann eller at en for en begrenset periode opprettholder kravet til to hygieniske barrierer ved å endre vannbehandlingen.

Resultatene fra en vurdering av data for norske råvannskilder tilsier ikke at en kan differensiere ut fra antall beitedyr i nedbørfeltet eller antall pe som slipper ut avløpsvann i kilden eller nedbørfeltet, slik bl.a. de skotske retningslinjene legger opp til. Det synes snarere som om en må gjennomføre en totalvurdering av forureningsbelastning og hydrologiske forhold, bl.a. fordi det ikke er likegyldig hvor i kilden og nedbørfeltet en forurensning vil komme. I forslaget til log kreditt er det derfor ikke gjort noen nærmere detaljering, fordi dette snarere vil være misvisende enn avklarende.

Er faglige vurderinger og log-kreditt-beregninger og lignende to sider av samme sak?

De ulike modellene som er omtalt over er ment som hjelpemidler i vurderinger av råvannskilder. Modellene er ment som et supplement til mer omfattende faglige vurderinger, og som en måte å systematisere den informasjonen som en har innhentet. Modellene er ikke et alternativ til å

gjennomføre faglige vurderinger der dette er nødvendig, men modellene gir på et tidlig tidspunkt muligheten til å vurdere hvilke muligheter vannverkene har til å øke den hygieniske sikkerheten og hvor eventuelle tiltak bør settes inn.

Resultater fra bruk av modeller bør gi samme resultat som helhetlige faglige vurderinger. Dersom dette ikke er tilfelle, skyldes dette sannsynligvis enten at modellen ikke er egnet for den aktuelle råvannskilden eller at input i modellen er feil. Modellene vil uansett ikke gi svar med større sikkerhet enn kvaliteten på input i modellene tilsier, og som nevnt over bør input i modellene ved større vannverk være ROS-analyse, hydrologiske undersøkelser med mer.

Referanser

Australian Government (National Health and Medical Research Council) (2005): Australian Drinking Water Guidelines. Dec.

Bjerke, V. (2007): Personlig meddelelse. Asker og Bærum vannverk (ABV)

Gjerstad K. (2004). Hygieniske barrierer og kritiske punkter i vannforsyningen: Hva har gått galt? NORVAR-rapport 136-2004. 46s

Folkehelseinstituttet (FHI) (2004): Vannforsyningens ABC. C: Vannkilder og nedbørfelt. <http://www.fhi.no/dav/e62cbbbe384.pdf>

- Hem, L. J., Eikebrokk, B., Røstum, J., Weideborg, M. og Østerhus, S. W. (2008): Vannkilden som hygienisk barriere. NORVAR-rapport under trykking.
- Helse- og omsorgsdepartementet (HOD) (2004): Forskrift om vannforsyning og drikkevann. <http://www.lovdاتا.no/cgi-wif/ldles?doc=/sf/sf/sf-20011204-1372.html>.
- Kristiansen, J. F. (2000): Rapport om drikkevann i Oslo år 1999. Oslo kommune. Vann- og avløpsetaten.
- Kristiansen, J. F. (2001): Rapport om drikkevann i Oslo år 2000. Oslo kommune. Vann- og avløpsetaten.
- Kristiansen, J. F. (2002): Rapport om drikkevann i Oslo år 2001. Oslo kommune. Vann- og avløpsetaten.
- Kristiansen, J. F. (2003): Rapport om drikkevann i Oslo år 2002. Oslo kommune. Vann- og avløpsetaten.
- Kristiansen, J. F. (2004): Drikkevannskvalitet. Fagrapport 2/2004. Oslo kommune. Vann- og avløpsetaten.
- Mattilsynet (2005). Veileder til drikkevannsforskriften. http://www.mattilsynet.no/mattilsynet/multimedia/archive/00017/Drikkevannsforskrift_17819a.pdf.
- Mosevoll, G. (2007): Personlig meddelelse. Skien kommune. Presentasjon av temperaturmålinger I Norsjø utført av Labnett Skien i 2003-2004.
- Scottish Water (2003): The Cryptosporidium Directions.
- Solem, M. (2007): Erfaringer med forekomst og oppvekst av koliforme bakterier på ledningsnett. Foredrag på NORVAR-fagtreff, 27. mars.
- Statens Institutt for Folkehelse (SIFF) (1971). Vannforsyningsanlegg. Planlegging, drift og kontroll av vannbehandlingsanlegg. Informasjonsskrift nr. 1.
- WHO (2004): Guidelines for Drinking-water Quality. Third Edition. Volume 1 Recommendations, World health Organization, Geneva.
- Ødegaard, H., Fiksdal, L. og Østerhus, S. W. (2006): Optimal desinfeksjonspraksis for drikkevann. NORVAR-rapport 147-2006.