

Driftserfaringer med membranfiltrering

Av Lars J. Hem

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

Sammendrag

Det er gjennomført en spørreundersøkelse blant norske vannbehandlingsanlegg med membranfiltrering om driftserfaringer generelt, og med fokus på hygienisk barrierevirkning spesielt. Spørreundersøkelsen ble fulgt opp med supplerende spørsmål, og i noen tilfeller også intervju.

Driftsproblemer som er erfart ved membrananleggene er:

- Svikt i den hygieniske barriereeffekten
- Fouling/scaling på forfilteret, eller sviktende hydraulisk kapasitet
- Membran fouling. Partikler med størrelse 0,1-2 μm har størst fouling potensial.
- Høye kimtall i rentvannet. De høye kimtallene skyldes mikrobiologisk vekst på rentvannssiden av membranene, og er knyttet til

vannets potensial for biofilmdannelse.

Driftsproblemene kan ofte knyttes opp mot en for optimistisk dimensjonering, en uheldig design og/eller sviktende forundersøkelser.

English summary

A survey has been performed, including collection of in-depth information on operational strategies and experiences of existing nanofiltration water treatment plants, to identify challenges and needs for improvements and to give recommendations with regard to operation, pre-treatment and design. Within this survey a questionnaire were sent to about 100 Norwegian water treatment facilities using nanofiltration. In addition, existing reports about operational strategies of nanofiltration in the field of drinking water production were

evaluated and integrated into the survey.

The reported operational problems experienced at nanofiltration plants are:

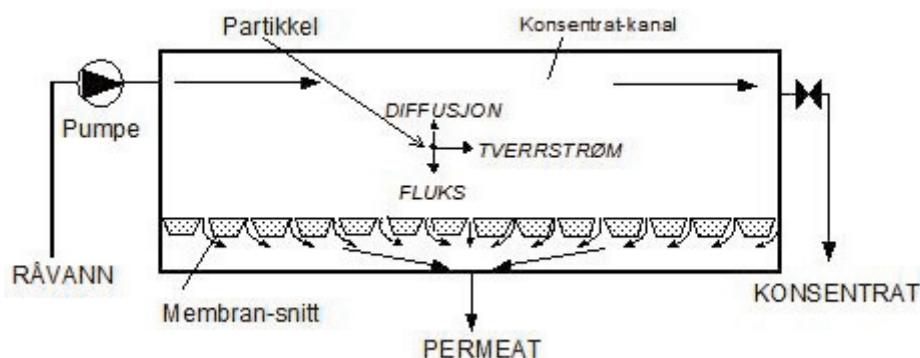
- Failure of the treatment barrier efficiency
- Fouling/scaling on the pre-filter, or insufficient hydraulic pre-filter capacity
- Membrane fouling. The particles in the range $0.1\text{-}2\ \mu\text{m}$ have the highest fouling potential.
- High plate count numbers in permeate. This high plate count number is caused by micro-biological regrowth at the treated water side of the membranes, and is related to the biofilm formation potential in the water.

The operational problems are often related to a too optimistic dimension-

ing, an improper design or lack of pre-studies as basis for design.

Bakgrunn

I løpet av knapt 20 år er det bygget over 100 vannbehandlingsanlegg med membranfiltrering for humusfjerning. Anleggene har ofte vist seg å fjerne humus effektivt, være stabile i drift og ha et moderat behov for tilsyn og drift. Det grunnleggende prinsippet i membranlegg er enkelt, som figur 1 viser. Råvann pumpes via et forfilter inn i membranmodulene der det strømmes langs membranene samtidig som filtreringen skjer gjennom disse. Dette er tverrstrømsprinsippet som, ved siden av de finporøse membranene, særtegner metoden. Avstanden fra innløp til utløp for konsentrat er gjerne 3 – 6 meter.



Figur 1. Prinsipiell oppbygging av membranfiltrering (Thorsen og Hem, 2003)

På oppdrag av Norsk Vann har Aquateam og SINTEF gjennomført et prosjekt om driftserfaringer med membranlegg, herunder disse anleggenes funksjon som hygieniske barrierer. Prosjektet ble igangsatt ut i fra flere meldinger om svikt i den hygieniske barrieren i membranlegg, og er rapportert i Hem og Thorsen (2008). Denne artikkelen bygger på de driftserfaringene som ble innhentet i dette prosjektet.

Det ble kun vurdert spiralmembraner, og med få unntak membraner av celluloseacetat. Den nominelle porestørrelsen var fra 1 til 5 nm.

Informasjon fra vannverksregisteret

Data fra vannverk med membranfiltrering som er registrert i Vannverksregisteret er bearbeidet (Nordheim, 2006). På bakgrunn av dette materialet har det vært mulig å trekke noen konklusjoner om disse anleggene.

Det var pr. april 2006 registrert 98 vannverk med membranfiltrering som

forsynte 50 personer eller mer. Av disse forsynte 30 vannverk mer enn 1000 personer, og ett vannverk forsynte over 10.000 personer. Totalt fikk 119728 personer vann fra vannverk med membranfiltrering som en del av vannbehandlingen.

43 vannverk hadde installert UV-desinfeksjon i tillegg til membranfiltrering. 8 anlegg hadde kontinuerlig klordosering i tillegg til membranfiltrering. I tillegg hadde 48 anlegg enten fast eller mobil klordosering-sutrustning som beredskap.

Ikke alle vannverkene har rapportert inn vannkvalitetsdata til Vannverksregisteret, og det er noe varierende hvilke analyseparametere de har registrert. Mikrobiologiske data og data for farge ble rapportert inn av ca. 60 % av vannverkene, og den følgende informasjonen er hentet fra dette utvalget.

Antall vannverk med påviste indikatororganismer eller kimtall over 100 kim/ml i rentvannet er vist i tabell 1.

År	Koliforme	E.coli	Kimtall (22°C) over 100	Intestinale enterokokker	Clostridium perfringens
2005	17	4	21	1	1
2004	23	7	16	0	0
2003	11	7	17	0	0
2002	9	4	11	0	0
2001	5	2	14	0	0

Tabell 1. Antall vannverk med påviste indikatorbakterier eller kimtall > 100 kim/ml

E.coli ble i løpet av perioden 2001-2005 påvist én eller flere ganger i rentvannet fra 31 % av vannverkene. Ved de fleste vannverkene er det kun påvist 1-3 *E.coli*/100 ml i én prøve i løpet av femårsperioden. I 2005 ble *E.coli* påvist én eller flere ganger i rentvannet fra 6 % av vannverkene, hvorav ingen hadde et desinfeksjonstrinn etter membranfiltrering, dvs. at ved 12 % av anleggene med membranfiltrering som eneste hygieniske barriere ble *E.coli* påvist i rentvannet. Av andre indikatororganismer ble *Clostridium perfringens* påvist i rentvannet fra ett vannverk i 2005, mens intestinale enterokokker ble påvist i rentvannet fra et annet vannverk i 2005.

Anlegg med registrert fargetall høyere enn henholdsvis 5 og 10 mg Pt/l er vist i tabell 2.

Hvert år har over 50 % av vannverkene målt fargetall i rentvannet > 5 mg Pt/l i minst én prøve, og ca 30 % har målt fargetall > 10 mg Pt/l.

Det midlere fargetallet i rentvannet var > 10 mg Pt/l ved 10 % av vannverkene i 2005. Det høyest målte fargetallet var > 10 mg Pt/l ved 32 % av

vannverkene, og > 20 mg Pt/l ved 8 % av vannverkene. Med hensyn til at disse membranleggene i hovedsak er bygget for å fjerne farge fra vannet tilsier disse resultatene at en rekke anlegg ikke fungerer optimalt.

8 % av vannverkene hadde i 2005 et midlere kimtall i rentvannet > 100 kim/ml, og 32 % av vannverkene hadde minst én prøve med kimtall > 100 kim/ml. Det høyest målte kimtallet i rentvannet var 1000 kim/ml i 2005 og 4900 kim/ml i perioden 2001-2005. Resultatene tilsier at et tidvis høyt kimtall i rentvannet må sies å være et fellestrekk for mange vannverk med membranfiltrering. Andelen av vannverkene som hadde høye kimtall i rentvannet var den samme på vannverk med permanent desinfeksjon i tillegg til membranfiltrering som på vannverk uten desinfeksjon. Det var ingen påviselig sammenheng mellom kimtallet i råvann og i rentvann.

Driftserfaringer med membran-anlegg

Breddeundersøkelse

Det ble sendt ut spørreskjema til 98

År	Anlegg med fargetall > 5	Anlegg med fargetall > 10
2005	36	20
2004	45	26
2003	45	25
2002	39	19
2001	31	18

Tabell 2. Antall vannverk med høye fargetall (høyeste registrerte verdi gjennom året)

vannverk. Totalt 37 vannverk svarte, dvs. en svarprosent på 38. Vannverkene som svarte forsynte til sammen 69228 personer pr. april 2006, dvs. at de representerte 58 % av abonnentene som forsynes fra vannverk som benytter membranfiltrering i vannbehandlingen. I alt 20 av anleggene har UV-desinfeksjon etter membranlegget og ett har kontinuerlig klordosering. Anleggene som svarte utgjør derfor på dette punktet et representativt utvalg av norske vannverk med membranfiltrering.

Vannverkene var i hovedsak fornøyd med membranleggene. 25 svarte ja på dette spørsmålet, 3 svarte nei og 9 svarte delvis fornøyd.

6 av vannverkene svarte at membranfiltrering som hygienisk barriere var eller hadde vært brutt, 28 svarte nei og 3 var usikre. Av de som svarte nei har 4 anlegg påvist E.coli i rentvannet i minst én vannprøve i perioden 2001-2005 i henhold til det som er innrapportert til Vannverksregisteret, slik at det er rimelig å forutsette at den hygieniske barrieren er brutt i flere enn de seks anleggene som selv oppga et slikt brudd. Det er imidlertid ikke grunnlag for å konkludere med at det er vanlig at den hygieniske barrieren er brutt i slike anlegg. Resultatene fra prøvetaking og analyse før og etter membranlegget viste at koliforme bakterier ble påvist i membranfiltrert vann fra 3 anlegg og E.coli i membranfiltrert vann fra ett anlegg. Det høyeste antallet koliforme bakterier som ble påvist var 10/100 ml i én prøve.

9 av vannverkene hadde et midlere fargetall ut fra membranlegget på

> 5 mg Pt/l, og 4 vannverk hadde et midlere fargetall > 10 mg Pt/l. 14 av vannverkene hadde et midlere kimtall i membranfiltrert vann > 10 km/ml, og 4 anlegg hadde > 100 km/ml. Alle vannverkene hadde en turbiditet < 0,2 FNU i membranfiltrert vann. Disse resultatene samsvarer med resultatene av gjennomgangen av data fra vannverksregisteret, og indikerer at de vannverkene som svarte utgjør et representativt utvalg av norske vannverk med membranfiltrering med hensyn på funksjon av anlegget.

17 av vannverkene oppga at de har hatt problemer med forfiltrene, og 13 av disse har byttet forfiltere. Problemene har bl.a. bestått i beleggdannelse med påfølgende hyppig spyling, og enkelte vannverk har også antydning at kapasiteten på det opprinnelige forfilteret var for dårlig.

15 av vannverkene oppgir at de har eller har hatt problemer med fouling på membranene. Av de resterende vannverkene har de fleste ikke besvart eller er usikre på om de har fouling. Ett vannverk har oppgitt at problemene med fouling opphørte da de skiftet forfilter.

Det ble undersøkt om det er samsvar mellom enkelte erfaringer og vannkvalitetsparametere. Dette er kun gjort ved å sammenligne data, ikke ved noen statistisk analyse. Resultatet fra disse vurderingene er vist i tabell 3.

Hvorvidt råvannet var en innsjø eller elv/bekk hadde ingen påviselig effekt på farge eller kimtall i permeatet. Råvannsfargen hadde isolert sett heller ingen påviselig effekt på fargetallet i permeatet, men det kan ikke

	Fargetall i permeat (membranfiltrert vann)	Kimtall i permeat (membranfiltrert vann)	Råvanns-pH
Råvannstype	Nei	Nei	
Råvannsfarge	Nei		
Nominell porestørrelse	Ja ¹	Ja ¹	
Vaskemiddel med/uten fosfat		Nei	
Alder eller levetid på membran	Nei	Nei	
Timer pr. døgn med produksjon		Ja ²	
Brudd i den hygieniske barrieren	Nei	Ja ³	
Farge i permeat		Ja ⁴	Nei

1) Økende porestørrelse medførte økende fargetall og kimtall i permeatet. Det var imidlertid kun 6 anlegg som oppga porestørrelse > 2 nm.

2) Anlegg som kun produserer vann deler av døgnet har høyere kimtall enn de som produserer hele døgnet

3) De 6 anleggene som har rapportert om brudd i den hygieniske barrieren var alle blant de 50 % av anleggene med høyest kimtall

4) 3 av 4 anlegg med farge > 10 var også 3 av 4 anlegg med kimtall > 100/ml

Tabell 3. Samvariasjon mellom enkelte erfaringer og vannkvalitetsparametere

utelukkes at en slik effekt er kamuflert av andre forhold som påvirker dette fargetallet.

Nominell porestørrelse på membranen påvirket både fargetall og kimtall i permeatet på den måten at økende porestørrelse medførte økende fargetall og kimtall. At økende porestørrelse medførte et økende fargetall i permeatet synes logisk og kan forklares med at mer organisk materiale, herunder noe humus- og fulvussyrer, passerer membranen når porestørrelsen øker. At kimtallet øker med økende porestørrelse kan imidlertid ikke forklares med at bakterier i råvannet passerer membranen fordi bakterier har en størrelse på i størrelsesorden 1 μm . Det økte kimtallet

kan ses i sammenheng med at et økt innhold av naturlig organisk materiale (NOM) i permeatet også kan gi et økt begroingspotensial, selv om tidligere undersøkelser (Hem and Efraimsen, 2001) har vist at begroingspotensialet i stor grad er knyttet til NOM med molekylvekt < 1000. (Molekylvekt 1000 tilsvarer en partikkelstørrelse på i størrelsesorden 1,5-2 nm (Thorsen, 1999).) At 3 av 4 anlegg med farge > 10 i permeatet også var 3 av de 4 anleggene med kimtall > 100/ml bekrefter at det var en samvariasjon mellom høyt fargetall og høyt kimtall.

Anlegg som kun produserte permeat deler av døgnet hadde gjennomgående høyere kimtall i permeatet enn anlegg som hadde døgnekontin-

uerlig produksjon (dvs. 23 timer produksjon + én time vask). Dette må ses i sammenhengen med det stagnante vannet en da har på rentvannssiden av membranen, kombinert med at temperaturen i dette vannet etter hvert stiger til romtemperatur. Generelt øker mikrobiologisk vekst med temperaturen inntil ca 30 °C.

Hvorvidt det ble benyttet vaske-middel med eller uten fosfat hadde ingen påviselig effekt på kimtallet i permeatet. Dette er i overensstem-melse med resultater rapportert av Hem and Charnock (1999) som viste at det kun unntaksvis er fosfor som er begrensende på biofilmdannelse i norsk drikkevann.

Membranenes alder hadde tilsyne-latende ingen innflytelse på fargetall eller kimtall i permeatet. Kun et fåtall anlegg hadde byttet membraner, slik at membranenes levetid og sammen-hengen mellom denne og alder ikke var klarlagt. Flere vannverk byttet av ulike årsaker membran 0-2 år etter at anlegget ble satt i drift. Av de øvrige anleggene som har byttet membran har levetiden vært 6-10 år. For de to anleggene som skiftet membraner etter 10 år tilsier historiske vann-kvalitetsdata for fargetall i rentvann og tilbakemeldinger fra vannverkene at membranene burde vært byttet tidligere.

Anleggene som oppga at de hadde hatt brudd i den hygieniske barrieren hadde høyere kimtall i permeatet enn de øvrige anleggene, mens det ikke var noen påviselig sammenheng mel-lom brudd i barrieren og fargetallet i rentvannet.

Det var ingen påviselig sammen-

heng mellom fouling på membranen og råvannskvalitet med hensyn på pH, turbiditet eller fargetall. Selv om en kunne forvente at organiske og uor-ganiske partikler bidrar til fouling, kan dette tilsa at turbiditet og farge ikke er egnede parametere for å beskrive potensialet for fouling.

Dybdeundersøkelse

11 av de vannverkene som hadde rap-portert om driftsproblemer kontaktet pr. e-mail, og til dels også pr. telefon, med supplerende spørsmål for å klar-legge årsakene til problemene.

Brudd i den hygieniske barrieren blir først oppdaget ved at koliforme bakterier blir påvist i rentvannet. Ingen av vannverkene har påvist brudd, eller fått grunn til mistanke om brudd, basert på endringer i andre vannkvalitetsparametere. Ingen av anleggene hadde i forkant av bruddet noen rutiner for prøvetaking og analyse fra de enkelte membran-rørene. En eventuell avvikende farge eller turbiditet fra ett eller flere rør ville derfor trolig ikke blitt oppdaget.

Årsakene til bruddene varierer. Defekte O-ringer/pakninger er påvist ved flere anlegg. Sviikt i forfilteret har vært den bakenforliggende årsaken til brudd ved noen anlegg. Det er flere forhold som har hatt betydning i denne sammenheng. Man har valgt å ha by-pass av vann utenom mem-brananlegget for å opprettholde van-nproduksjonen, samt at uheldig design har gjort at en har fått trykkstøt på membranlegget under vask av forfilteret med mekanisk brudd i membranen som konsekvens. Ett van-nverk rapporterte at svikten i den

hygieniske barrieren skyldtes for liten tverrstrøm, som igjen var forårsaket av for liten sirkulasjonspumpe.

De kortsiktige tiltakene ved påvist brudd i den hygieniske barrieren har vært å sende ut anbefaling om koking og/eller desinfeksjon av membranfiltrert vann med klor eller UV-bestråling. De langsiktige tiltakene har bestått i å løse de bakenforliggende problemene som har medført et brudd, enten dette har vært defekte O-ringer, uegnet forfilter eller kapasitetsproblemer.

De vanligste årsakene til at det har vært behov for bytte av forfilter har vært at forfiltrene ikke klarer å holde tilbake tilstrekkelig med partikler med et potensial for fouling og at forfilterets selvspyling ikke har vært god nok. Ved bytte har både fabrikat og til dels type filter blitt endret, mens porestørrelsen ikke har blitt endret.

Problemet med fouling er at membranleggets hydrauliske kapasitet blir redusert, noe som også er rapportert av bl.a. Liane (2007). Reduksjonene har til dels vært så store at anlegget ikke kan levere tilstrekke-

lig med vann til abonnentene, og en har vært nødt til å ta en delstrøm i bypass forbi membranlegget for å opprettholde vannproduksjonen. Både organisk og uorganisk materiale er rapportert å kunne være årsak til fouling. Biologisk vekst på membranen som et problem er kun omtalt ved ett anlegg.

Tiltakene for å redusere fouling varierer mye ut fra hva som er hovedproblemet. Bytte av forfilter og endringer i inntak/kilde nevnes hyppigst, men intensivt/endret membranvask og økt tverrstrøm er også blant tiltakene.

Høye kimtall er rapportert å være noe som opptrer sporadisk, og som opptrer ved relativt høye vanntemperaturer og i perioder med fullsirkulasjon i kilden.

Supplerende vannanalyser

Ved 2 av vannbehandlingsanleggene som har rapportert om tidvis høye kimtall i rentvannet, ble det tatt prøver av råvann og membranfiltrert vann under fullsirkulasjonsperioden høsten

Parameter	Anlegg 1		Anlegg 2	
	Råvann	Membranfiltrert vann	Råvann	Membranfiltrert vann
AOC ($\mu\text{g C/l}$) høsten 2007	45	23	48	22
Kimtall høsten 2007 (/ml)	890	100	-	-
Midlere kimtall 2002-2005 (/ml)	205	65	106	121
Høyeste kimtall 2002-2005 (/ml)	1400	530	400	2400

Tabell 4. AOC og kimtall i råvann og membranfiltrert vann fra 2 vannverk med membranfiltrert vann

2007. Prøvene ble analysert med hensyn på assimilerbart organisk karbon (AOC), og ved det ene vannverket også kimtall. Resultatene er vist i tabell 4 sammen med informasjon fra Vannverksregisteret om kimtall i perioden 2002-2005. Ved begge vannverkene produseres vann hele døgnet, med unntak for en time med døgnavsk av membranene.

Begge vannverkene har høye kimtall i det membranfiltrerte vannet, og i perioder også i råvannet. Ved anlegg 2 er kimtallet ofte høyere i det behandlede vannet enn i råvannet.

Ved begge vannverkene var AOC i membranfiltrert vann i én prøve høsten 2007 vesentlig lavere enn i råvannet. Tidligere undersøkelser av AOC før og etter membranfiltrering har vist at AOC i liten grad reduseres i membranfiltreringsanlegg for humusfjerning, dvs. anlegg med nanofiltrering, fordi de organiske molekylene som bidrar til AOC er relativt små og derfor passerer gjennom membranene (Hem and Charnock, 1999, Hem and Efraimsen, 2001). Når AOC reduseres som følge av membranfiltreringen ved de to anleggene der det ble tatt vannprøver for analyse av AOC, kan en derfor anta at reduksjonen skyldes enten at AOC var knyttet til større molekyler enn i tidligere undersøkelser eller at den skyldes andre prosesser enn membranfiltrering alene. En mulig forklaring på reduksjonen er at det er biofilm på råvannssiden og/eller på rentvannssiden av membranen, og at lett nedbrytbart organisk materiale tas opp i og brytes ned av mikroorganismene i biofilmen. Noe slamansamling og

biofilm kan det selvsagt også være på innsiden av selve membranrøret, men arealet som her er tilgjengelig for biofilmvekst er forsvinnende lite sammenlignet med arealet av selve membranen. Biofilmvekst på råvannssiden av membranen kan bidra til biofouling, men kan ikke forklare hvorfor en har et høyt kimtall i rentvannet. Biofilmdannelse på rentvannssiden vil derimot være en forklaring på de høye kimtallene i membranfiltrert vann, fordi biofilmen tidvis vil løsne og føres videre med vannet. Resultatene indikerer dermed at det er biofilmdannelse på rentvannssiden av membranen, og at dette er årsaken til høye kimtall i rentvannet. Resultatene tilsier også at en bør ha fokus på en mulig biofouling.

Mulige tiltak for bedre drift av membranlegg

Det ble identifisert noen områder der det er et forbedringspotensial for drift eller design av membranlegg:

- Generelt:
 - o God journalføring
 - o Generelt bør det foreligge gode data for råvannskvaliteten før et anlegg designes, og for membranleggene er det viktig å ha oversikt over både mengde, type og størrelse på partikulært materiale. Spesielt viktig er det å måle partikkelstørrelse og – mengde for partikler med størrelse 0,1-2 μm , siden disse er den vesentligste kilden til fouling på membranene (Thorsen, 1999).
 - o Optimalisering av forbehandlingstrinnet

- Tiltak for å forebygge fouling
 - o Optimalisert forbehandling.
Anleggene har i stor grad lik forbehandling på tross av store forskjeller i råvannskvalitet.
 - o Reduksjon i fluks. Dette **kan** medføre at anlegget må utvides med flere membraner.
 - o Redusert gjenvinningsgrad/økt konsentratstrøm, forutsatt at kildekapasiteten er god.
 - o Overvåking av permeabilitet:

$$\text{Permeabilitet} = \frac{(\text{flux nær innløp} + \text{flux nær utløp})}{2} \cdot \frac{[+ 0,025 \cdot (6 - \text{temperatur})]}{\text{middeltrykk}}$$

Med middeltrykk menes midlere drivende trykk på råvannssiden minus trykk på rentvannssiden. Alternativt kan det første leddet i formelen erstattes med midlere fluks.

- o Overvåking av spesifikt tverrstrømstrykk:
- Kontroll av den hygieniske barrieren og forebygging av svikt i denne
 - o Overvåking av barriereeffekt. Det må understrekes at det ikke er funnet noen universelle parametere som kan benyttes, men enkelte vannverk har funnet noen indikatorparametere som synes lovende.
 - o Bedre forbehandling kan bl.a. redusere trykktap over membranen og forebygge trykkstøt på membranene.
 - o Mulighet for prøvetaking fra hvert membranrør gjør feilsøking enkle, og kan være en forutsetning for overvåking av vannkvalitet som indikator på barriereeffekt.

- Redusert biofilmdannelse på rent vannssiden av membranlegget.
 - o Unngå en driftsform der det ikke er vannproduksjon om natten, fordi en vil få romtemperert stagnant vann på rentvannssiden
 - o Rutinemessig klorvask på rentvannssiden, forutsatt at membranen tåler dette, noe som må avklares med leverandøren
 - o En forbehandling som reduserer vannets innhold av lett nedbrytbart organisk materiale

Konklusjoner

Mange anlegg har hatt problemer med sine forfiltre, dels i form av tekniske problemer og dels ved at forfiltrene ikke har vært tilstrekkelig forbehandling før membranfiltrering. Den hyppigst forekommende konsekvensen av dette er redusert kapasitet på vannbehandlingsanlegget, enten på grunn av redusert kapasitet på forfilteret eller fordi en utilstrekkelig forbehandling har bidratt til membranbelegg (fouling). Ofte har det vært tilstrekkelig å erstatte forfilteret med et annet produkt eller fabrikat med samme spalte/poreåpning. I noen tilfeller gir imidlertid ikke et enkelt forfilter tilstrekkelig forbehandling til å forebygge fouling, hvilket kan skyldes at små partikler med størrelse 0,1 - 2 μm er særlig tilbøyelige til beleggdannelse. I de sistnevnte tilfellene er ulike løsninger forsøkt eller planlagt, som for eksempel senking av inntaksdyp eller flytting av inntak for å redusere partikkelbelastningen på forfilteret og membranfilteret. En mer omfattende forbehandling som sandfiltrering eller kunstig infiltrasjon kan også være et

alternativ. Et sandfilter kan gi noe beskyttelse mot uheldig bunnmudder fra kilden og slamslipp fra en lang inntaksledning. En hovedkonklusjon er at forbehandlingen er en av de mest kritiske prosessdelene på et membranfiltreringsanlegg. En grundig kartlegging av råvannskvaliteten før anlegget prosjekteres er derfor en nødvendig for å unngå problemer på et senere tidspunkt.

Enkelte vannverk har periodevis høye kimtall i rentvannet fra membranlegget. Fordi membranlegget vil holde tilbake mikroorganismer, og fordi kimtallet av og til er høyere i rentvannet enn i råvannet, må kimtallet skyldes vekst på rentvannssiden av membranene. I ett tilfelle er det også påvist vekst av koliforme bakterier på rentvannssiden av membranlegget. At det er en stor flate tilgjengelig for biofilmdannelse er det lite å gjøre med, men det er mulig å endre miljøet slik at en reduserer biofilmveksten. Av mulige tiltak er rutinemessig desinfeksjon på rentvannssiden mest nærliggende, men en driftsform som hindrer stagnant og romtemperert vann på rentvannssiden vil være et bidrag til problemløsningen i enkelte tilfeller. Dersom forbehandlingen må utvides betydelig for å forebygge fouling kan en også vurdere om den utvidete forbehandlingen bør designes også med hensyn på en reduksjon i vannets begroingspotensial.

Membranfiltrering **kan** utgjøre en hygienisk barriere, men flere anlegg har opplevd at denne barrieren har sviktet. Viktige årsaker til svikt har vært lekkasje gjennom o-ringer, brudd i membranene og by-pass av vann

forbi membranlegget. På grunn av manglende overvåking av den hygieniske barrieren har ikke slik svikt blitt avdekket før en har påvist koliforme bakterier i rentvannet.

Det anbefales følgende tiltak for bedre overvåking og eventuelt optimalisering av membranfiltreringsanleggene:

- Måling av indikatorparametere pr. membranrør for å ha kontroll på den hygieniske barrieren, noe som forutsetter at en finner frem til egnede indikatorparametere. Uten slik kontroll kan en ikke med sikkerhet si at en har en hygienisk barriere.
- Registrering av utviklingen i permeabilitet og spesifikt tverrstrømstrykk for å kunne overvåke utviklingen i fouling på membranene.
- Måling av størrelse, mengde og type partikler som en del av designgrunnlaget for nye membranlegg, eventuelt også ved undersøkelser av årsaker til driftsproblemer ved eksisterende anlegg. (Merk at det er kornstørrelse 0,1-2 μm som er viktigst med hensyn på fouling.)
- Membranfilteranlegg bør bygges med prøvetakingskraner for hvert membranrør, og det bør monteres avstengningsventiler som gjør det mulig å ta ett rør ut av drift uten å måtte stenge hele anlegget. (Ved store anlegg kan det alternativt monteres felles avstengningskraner for flere rør, men antall rør pr. kran bør begrenses slik at det er mulig å opprettholde vannproduksjonen mens én gruppe av rør er ute av drift.)

Referanser

- Hem, L. J. and Charnock, C. (1999): "Biofilm formation potential in Norwegian waterworks – the influence of raw water quality and treatment technology. Proceedings, 1999 AWWA Annual Conference and Exposition, Chicago June 20-24.
- Hem, L. J. and Efraimsen, H. (2001): Assimilable organic carbon in molecular weight fractions of natural organic matter. *Wat. Res.* Vol. 35, No. 4, pp. 1106-1110.
- Hem, L. J. og Thorsen, T. (2008): Driftserfaringer med membranfiltrering. *Norsk Vann rapport 160/2008.*
- Liane, S. F. (2007): Membranteknologi i VA-sektoren – driftserfaringer fra anlegg. Foredrag ved fagtreff i Norsk Vannforening, 7. mai.
- Nordheim, C. F. (2006): Personlig meddelelse. Folkehelseinstituttet.
- Thorsen, T. (1999): Fundamental studies on membrane filtration of coloured surface water. Doctor technicae-thesis. NTNU.
- Thorsen, T. og Hem, L. (2003): Membranfiltrering og begroingspotensial i ledningsnettet. *VANN* 38:4:391-400.