



Driftserfaringer med membranfiltrering



Norsk Vann Rapport

(Tidligere NORVAR-rapporter)

Det utgis 3 typer rapporter:

Rapportserie A:

Dette er de opprinnelige hovedrapportene. Dette kan være:

- Rapportering av prosjekter som er gjennomført innenfor organisasjonens eget prosjektsystem
- Rapportering av spleiselagsprosjekter hvor to eller flere andelseiere i Norsk Vann BA samarbeider for å løse felles utfordringer
- Rapportering av prosjekter som er gjennomført av andelseiere eller andre. Rapporten vil i slike tilfeller kunne være en ren kopi av originalrapporten eller noe bearbeidet

Fortløpende nummer xx-årstall

Rapportserie B:

Dette er en serie for «enklere» rapporter, for eksempel forprosjekter, som vil være grunnlag for videre prosjektvirksomhet mm.

Fortløpende nummer Bxx-årstall

Rapportserie C:

Dette er rapporter delfinansiert av Norsk Vann, men som er utgitt av andre.

Fortløpende nummer Cxx-årstall

Prosjekresultatene fra Norsk Vann Rapport (serie A og B) kan fritt benyttes internt i egen organisasjon. Når prosjekresultatene benyttes i skriftlig materiale, må kilde oppgis. Viderealg/formidling av resultatene utover dette er kun tillatt etter skriftlig avtale med Norsk Vann BA.

Norsk Vann har ikke ansvar for feil eller ufullstendigheter som måtte forekomme i rapporten og kan ikke stilles økonomisk eller på annen måte til ansvar for problemer som måtte oppstå som følge av bruk av rapporten.



Norsk Vann

Norsk Vann BA, Vangsvegen 143, 2317 Hamar
Tlf: 62 55 30 30 E-post: post@norsk vann.no
www.norsk vann.no

VA - rapport

Norsk Vann BA

Adresse: Vangsvegen 143, 2317 Hamar

Internettadresse: norsk vann.no

Telefon: 62 55 30 30

Rapportnummer:
160 - 2008

Dato:
19.05.08

Antall sider (inkl. bilag):
54

Tilgjengelighet:
Åpen: x
Begrenset:

Rapportens tittel:
Driftserfaringer med membranfiltrering

Forfatter(e):
Lars J. Hem og Thor Thorsen

Ekstrakt:

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.

For å sikre en tilfredsstillende hygienisk barrierevirkning anbefales følgende ved prosjektering og drift av membranfiltreringsanlegg:

- Det må legges stor vekt på å tilpasse forbehandlingen til den faktiske råvannskvaliteten.
- Det må legges vekt på tiltak som begrenser fouling på membranene
- Anleggene må ha utstyr for overvåkning av membranenes virkning som hygienisk barriere.
- Det må legges opp driftsrutiner som reduserer muligheten for mikrobiologisk vekst på rentvannssiden.
- Vurdere råvannskvalitetens betydning, spesielt faren for finslam fra bunnmudder i kilden og slamslipp fra lange inntaksledninger

Denne rapporten inkluderer noen forslag til tiltak som kan begrense problemene nevnt over. Tiltakene kan i enkelte tilfeller være mindre endringer i fysisk utforming eller drift, mens i noen tilfeller medfører tiltakene en betydelig utvidet vannbehandling.

Emneord, norske:
Membranfiltrering, hygienisk barriere,
forfilter, driftserfaring

Emneord, engelske:
Membrane filtration, hygienic barrier, pre-
filtration, operational experience

Andre utgaver:

ISBN 978-82-414-0292-0

Forord

Denne rapporten er et resultat av Norsk Vann sitt prosjekt Membranfiltrering som hygienisk barriere. Prosjektet er gjennomført av Aquateam AS og SINTEF i fellesskap, med Lars J. Hem fra Aquateam (fra 1/7-07 SINTEF) som prosjektleder, og Thor Thorsen og Astrid Oust Janbu som prosjektmedarbeidere.

God kontroll med driften av membrananlegg er meget viktig. Dette prosjektet ble igangsatt utfra flere meldinger om svikt i den hygieniske barrieren i membrananlegg. Ved tilstrekkelig kravsetting ved innkjøp, driftskontroll og oppfølging vil risikoen for slik svikt reduseres vesentlig, og en eventuell svikt vil kunne oppdages raskt. Uten denne typen oppfølging vil anleggenes funksjon som hygienisk barriere kunne reduseres over tid.

Oppfølging og riktig drift er også helt avgjørende for å ivareta kapasiteten til anleggene. Gode forundersøkelser av råvannet og en tilpasset forbehandling, er trukket frem som viktige forutsetninger for å få et riktig dimensjonert og fungerende anlegg.

I denne rapporten er det gitt sjekklister som kan følges ved drift og anskaffelse av membrananlegg.

Rapporten er en av flere rapporter fra Norsk Vann som omhandler drift og barrierevirkning i vannbehandlingen. Rapporten er således en brikke i arbeidet for å gjøre norsk vannforsyning bedre og tryggere.

Prosjektet har vært avhengig av informasjon fra Vannverksregisteret, og det rettes i denne sammenheng en takk til Carl F. Nordheim ved Nasjonalt Folkehelseinstitutt. Prosjektet har også vært avhengig av tilbakemeldinger fra vannverk som benytter membranfiltrering i vannbehandlingen, og det rettes herved en takk til de vannverkene som har tatt seg tid til å besvare spørsmålene.

Prosjektet har hatt en referansegruppe bestående av:

Magne Roaldseth, Driftsassistansen i Møre og Romsdal
Svein Liane, Driftsassistansen i Telemark
Hans Olav Gjerdrum, Gjerdrum kommune
Harry Jørgensen, Vestre Toten kommune
Eli Holen, Orkdal kommune
Pål Kringen, Mattilsynet, DK Romerike

Takk til referansegruppen og andre som har bidratt med innspill til rapporten.

Hamar 19. mai 2008
Kjetil Furuberg, prosjektleder Norsk Vann

Innholdsfortegnelse

Forord.....	2
Sammendrag	4
English summary	6
1. Bakgrunn.....	8
2. Erfaringer med membranfiltrering.....	9
2.1. Generelt om membranfiltrering	9
2.2. Noen generelle erfaringer	22
2.3. Membranfiltrering som hygienisk barriere	25
3. Informasjon fra vannverksregisteret	27
4. Driftserfaringer med membranlegg; breddeundersøkelse	29
4.1. Metodikk.....	29
4.2. Resultater	29
5. Driftserfaringer med membranlegg; dybdeundersøkelse	32
5.1. Metodikk.....	32
5.2. Resultater del 1	32
5.3. Resultater del 2	33
6. Diskusjon av mulige tiltak	35
6.1. God journalføring	35
6.2. Tiltak for å forebygge og overvåke fouling	35
6.3. Kontroll av den hygieniske barrieren	36
6.4. Forebygge svikt i den hygieniske barrieren	38
6.5. Biofilmdannelse på rentvannssiden av membranene.....	39
7. Momentliste ved anskaffelse og drift av membranlegg	41
7.1. Innledning	41
7.2. Momentliste ved anskaffelse av membranlegg.....	41
7.3. Momentliste ved drift av membranlegg	42
7.4. Momentliste ved driftsproblemer ved membranlegg	42
8. Konklusjoner	44
9. Anbefalinger om videre arbeider	46
10. Referanser.....	47
Vedlegg 1: Spørreskjema fra breddeundersøkelsen.....	49

Sammendrag

Membranfiltrering for humusfjerning har vært i bruk i Norge i over 20 år, og da i hovedsak med nanofiltreringsmembraner. Denne behandlingsprosessen er effektiv for fjerning av humus. Ved mange vannverk er membranfiltrering den eneste vannbehandlingen med unntak av en enkel forbehandling i et forfilter med 50 µm spalteporeåpning, og membranfiltrering utgjør dermed vannbehandlingsanleggets eneste hygieniske barriere.

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.

Betydningen av råvannets kvalitet bør ikke undervurderes. Mange anlegg har hatt problemer med sine forfiltre, dels i form av tekniske problemer og dels ved at forfilteret ikke har vært tilstrekkelig forbehandling før membranfilteret. 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 belegg på membranene (fouling). Ofte har det vært tilstrekkelig å erstatte forfilteret med et annet produkt eller fabrikat med samme spalteporeåpning, men i noen tilfeller gir et enkelt forfilter åpenbart ikke tilstrekkelig forbehandling til å forebygge fouling. Dette kan skyldes at små partikler med størrelse 0,1-2 µm i særlig grad bidrar til beleggdannelse. I de sistnevnte tilfellene er ulike løsninger forsøkt eller planlagt, som senking av inntaksdyp eller flytting av inntak for å redusere partikkelbelastningen på forfilteret og membranfilteret, eller en mer omfattende forbehandling som sandfiltrering eller kunstig infiltrasjon.

Enkelte vannverk har periodevis høye kimtall i rentvannet fra membranlegget. Fordi membranlegget vil holde tilbake mikroorganismer 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 tilgjengelig flate 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 stagnert 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 det er påvist koliforme bakterier i rentvannet.

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

- Måling av indikatorparametre pr. membranrør for å ha kontroll på den hygieniske barrieren, noe som forutsetter at en finner frem til egnede indikatorparametre. 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 i råvannet som en del av designgrunnlaget for nye membranlegg, eventuelt også ved undersøkelser av årsaker til driftsproblemer ved eksisterende anlegg.
- Membranlegg bygges med prøvetakingskraner for hvert membranrør, og at det 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. Ventilene bør være av et materiale som tåler desinfeksjon med klor.

English summary

This report is published in Norwegian by Norwegian Water BA (Norsk Vann BA), www.norwegian-water.no / www.norskvann.no

Address: Vangsvegen 143, N-2317 Hamar, Norway
Phone: + 47 62 55 30 30
Fax: + 47 62 55 30 31
E-mail: post@norskvann.no

Report no: 160 - 2008
Report Title: Operational experience with nanofiltration
Date of issue: 19. May 2008
Number of pages: 54

Keywords: Membrane filtration
Hygienic barrier
Pre-filtration
Operational experience

Author: Lars J. Hem
Thor Thorsen

ISBN: 978-82-414-0292-0

Summary:

In the last two decades, surface water treatment with nanofiltration membranes has become an attractive alternative to conventional treatment for the removal of humic substances. Nanofiltration has no need for chemical additives during routine operation, and a good treated water quality is normally obtained independent of feed water quality. In addition, nanofiltration can provide high treatment barrier efficiency towards micro-organisms. With the exception of the nanofiltration concentrate and possible sludge/backwash water from possible pre- and/or post treatment units, there is no sludge or waste production. Nanofiltration is a compact process, and easy automation is one of the advantages of this process compared to conventional treatment processes. Although nanofiltration is now applied in approximately 100 Norwegian waterworks, there is still room for improvement with respect to both design and operational issues.

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.

Design and operational strategies are to a large extent standardised for all the Norwegian nanofiltration plants. However, both due to operational experiences and the need to increase the treatment barrier efficiency, several waterworks have modified the treatment processes. The most frequent modifications are renewal of prefilters and addition of post-disinfection with UV. The treated water quality is satisfactory at the majority of the treatment plants, but during the last years approximately 30 % of the plants have at least once a year measured colour > 10 mg Pt/l. In addition, 30 % have detected total coliforms in treated water at least once a year and 31 % have detected E.coli in the treated water once or more in the period 2001-2005.

The reported operational problems experienced at nanofiltration plants are:

- Fouling/scaling on the prefilter, or insufficient hydraulic prefilter capacity (46 % of the plants)
- Membrane fouling (40 % of the plants). The particles in the range 0.1-2 µm have the highest fouling potential.
- Failure of the treatment barrier efficiency (27 % of the plants)
- High plate count numbers in permeate (30 % of the plants). 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 report includes suggestions to corrective actions towards the challenges mentioned above. These actions may be minor changes in design or operation, but in a few cases they may cause a considerable extended water treatment process. The suggestions are:

- Measurement of indicators per membrane tube to control the hygienic barrier, presuming that suitable indicators may be established.
- Registration of the permeability and the crossflow pressure loss in order to observe the membrane fouling development.
- Determination of the amount, particle size and type of particles in the raw water as a part of the design basis for new membrane plants, and as an input for trouble-shooting at existing plants with fouling.
- Install sampling points for treated water from each membrane tube, and valves that makes it easy to take one or a few tubes out of operation in the membrane plant. At larger plants, it may be convenient and economical beneficial to prepare for taking groups of tubes out of operation, and then reduce the number of valves.

1. Bakgrunn

Membranfiltrering som vannbehandlingsprosess for humusfjerning har de senere årene blitt tatt i bruk på stadig flere vannverk. Ved mange vannverk utgjør membranfiltreringen den eneste hygieniske barrieren i vannbehandlingsanlegget.

Ved enkelte vannverk er det rapportert at den hygieniske barrieren er brutt, med de konsekvenser dette kan få for abonnentene (Hem og Storhaug, 2005). Det er også meldt om flere former for driftsproblemer ved membranlegg, som fouling, biofilmvekst, forhøyet kimtall på rentvannssiden og gjennombrudd i membraner/pakninger. Det foreligger et behov for å kartlegge driftserfaringene og driftsutfordringene nærmere, for å sikre at slike anlegg blir utformet og driftet på en mest mulig optimal måte.

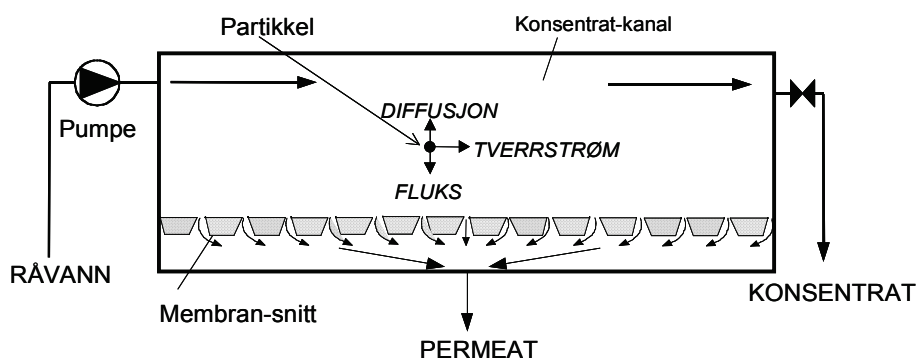
For en vannverkseier som skal i gang med planlegging og bygging av et membranfilteranlegg, er det behov for god veiledning med hensyn til hva slags forundersøkelser som bør gjennomføres, hva slags forbehandling som er nødvendig (avhengig av kildetype og vannkvalitet), hva som er optimal anleggsutforming og drift (trykk/fluks/kapasiteter/poreåpning, begroing, rengjøringsrutiner, utslippspraksis, prøvetakingspunkter, overvåking av vannkvalitet), og nærmere kunnskap om kostnader og levetid. Dette prosjektet har hatt som mål å fremskaffe og systematisere driftserfaringer fra membranlegg for å bidra til at vannverkseiere får et best mulig grunnlag for planlegging og drift av membrananleggene.

Arbeidet har vært begrenset til membranlegg med nanofiltrering for humusfjerning, som er den dominerende bruk av membranfiltrering i norsk vannforsyning. Disse anleggene benytter tverrstrøms spiralmembraner, og med få unntak membraner av celluloseacetat.

2. Erfaringer med membranfiltrering

2.1. Generelt om membranfiltrering

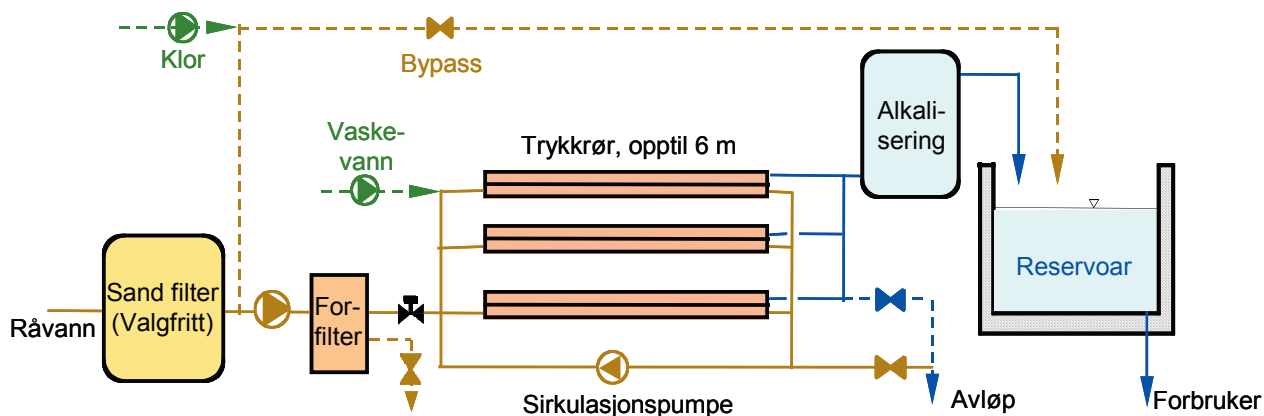
Det grunnleggende prinsippet i membranlegg er enkelt, som figur 1 viser. Råvann pumpes via et forfilter inn i membranmodulene der det strømmer langs membranene samtidig som filtreringen skjer gjennom disse. Dette er tverrstrøms-prinsippet som, ved siden av de fin-porøse membranene, særtegnar metoden. Avstanden fra innløp til utløp for konsentrat er gjerne 3 – 6 meter.



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

Mange moduler parallellkoples for å øke membranarealet og derved kapasiteten for anlegget. For å holde membranen ren kreves en viss tverrstrøms hastighet og denne er det ofte ikke mulig å oppnå uten at noe konsentrat resirkuleres til innløpet.

Bemanningsbehovet ved slike anlegg er relativt beskjedent ved god drift. Kostnadene er avhengige av hvor optimalt anlegget er dimensjonert og utformet. De er i første rekke knyttet til hvor effektivt en fjerner belegg på membranen, og derved også hvilken kapasitet en kan få ut av hver kvadratmeter membran. Høyere fluks øker beleggfare og det er viktig å begrense fluksen til en verdi som kan opprettholdes. Det finnes mange måter å operere membranfiltre på, men alle norske anlegg er bygget om lag som vist i figur 2.



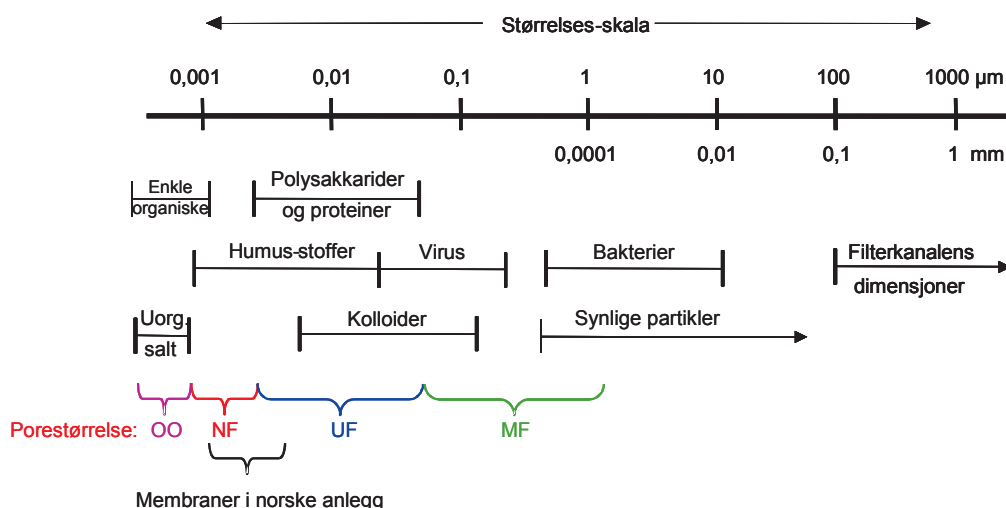
Figur 2. Prinsippet for anleggene

Det er også ulike modultyper i bruk. Spiralmembraner er vanligst i Norge. Disse er rimelige per m² membranareal, men kan ikke tilbakespyles. Her har kapillær-membranene en fordel da kan de tilbakespyles for å fjerne belegg som danner seg på

membranen. Disse membranene er oftest dyrere enn spiraler pr. m² membran og opereres derfor med høyere fluks, noe som gir raskere beleggdannelse.

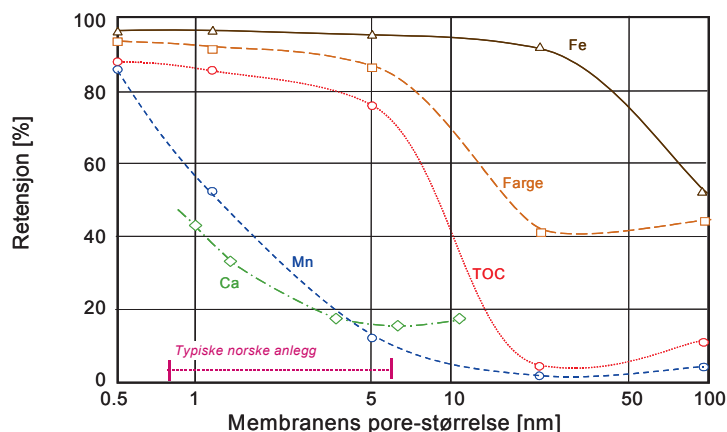
Renseeffekt og membranporer

Membranenes evne til å rense drikkevann er knyttet til de små porene i membranen, som bestemmer hvilke stoffer som skal holdes tilbake. Porene må være store nok til å slippe igjennom vann. Figur 3 viser hvordan porediameteren i ulike metoder for membranfiltrering fordeler seg langs en størrelse-skala som også viser størrelsen på ulike partikler i råvann. Den viktigste forskjellen mellom metodene er porediameteren i membranen og driftstrykket som er nødvendig for å presse en rimelig mengde vann gjennom hver m² membran-flate.



Figur 3. Størrelse-skala som viser størrelsen på ulike stoffer og partikler i råvann og porediameter for membraner (OO= omvendt osmose, NF er nanofiltrering, UF=ultrafiltrering, MF=mikrofiltrering)

I figur 4 er porestørrelsen for vanlige membraner i norske anlegg avmerket i et diagram som viser retensjonen for ulike parametere i drikkevannssammenheng. Retensjon er lokal renseeffekt på et tilfeldig sted på membranen. Alle stoffene som holdes tilbake av membranen gjør at det ubehandlede vannet inne i membranmodulen vil få høyere konsentrasjon etter hvert som vann filtreres gjennom membranen, og dette medfører at renseeffekten for hele anlegget vil være litt lavere enn retensjonen og råvannskvaliteten skulle tilsi.



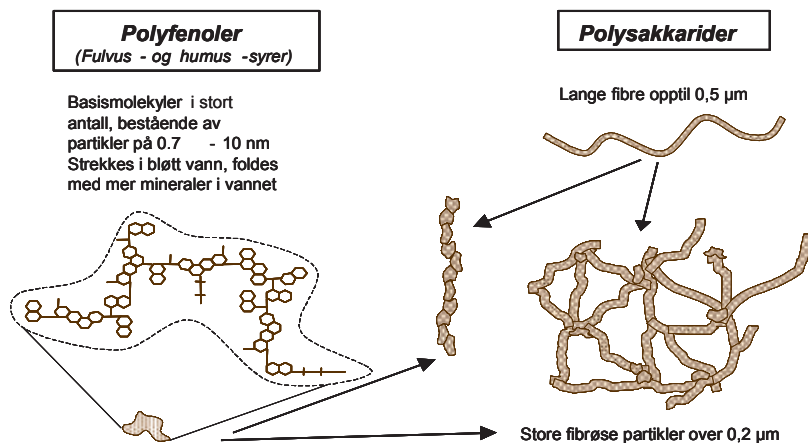
Figur 4. Retensjon (lokal renseffekt) for ulike parametere.

Vi ser av figur 4 at jern (Fe) fjernes effektivt over et stort område. Farge og TOC fjernes litt dårligere fordi en stor del av disse parametrene finnes i mindre partikler enn tilfellet er for jern. Mangan (Mn) og kalsium (Ca) fjernes dårligere enn de andre stoffene fordi kalsium og mangan foreligger som små enkeltpartikler (eller som ioner). Skal en fjerne mangan må en velge membraner med små porer.

NOM i membranfiltre.

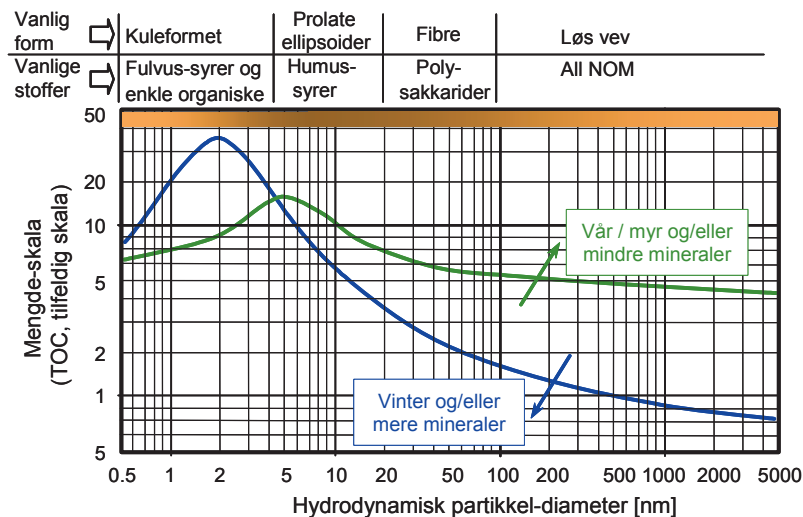
Ved membranfiltrering skal humusstoffer, eller NOM (naturlig organisk materiale), fraskilles, hovedsaklig etter størrelse, omlag som ved siling. Ved en vurdering av funksjonen for membranfiltre er det derfor viktig å vite størrelsen på NOM partiklene.

Karakterisering av NOM er vanskelig fordi dette er en meget omfattende gruppe kjemiske forbindelser som dannes ved nedbrytning og dels mikrobiologisk gjenoppbygging av biologisk materiale i naturen, først og fremst plantemateriale. I figur 5 er det gjort et forsøk på en forenklet beskrivelse av disse partiklene. I størrelsesområdet under ca 4 nm (0,000004 mm) snakker vi om et stort utvalg enkle organiske forbindelser. Mange av dem er aromatiske, det vil si at de inneholder såkalte benzen-ringer. Fulvussyrene en viktig gruppe. I området 4 – 20 nm finner vi humussyrene, som er ganske lik fulvussyrene, men er uløselige i syre og mer hydrofobe (vannavvisende). Fulvussyrene og humussyrer kalles ofte polyfenoler og de har form som forgrenede molekylkjeder. Over disse i størrelse finnes trådformede polysakkarider. Store partiklene over ca 0,1 µm består i stor grad av sammenvevde nettverk der polysakkarider utgjør rammeverket, men hvor også fulvussyrer og humussyrer er innkapslet.



Figur 5. Ulike NOM partikler av ulik størrelse har ulik struktur og sammensetning

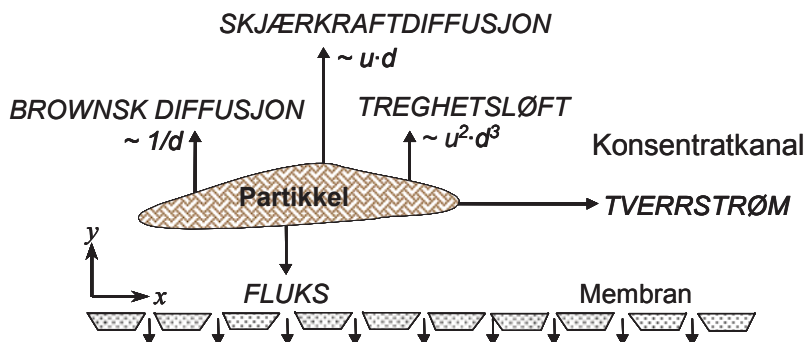
Figur 6 viser hvordan NOM-partiklene fordeler seg på størrelse og form. Det som kanskje er spesielt interessant å merke seg er en forskyvning mot større partikler på sen-våren når avrenningen fra jordsmonnet starter, noe som vanligvis er sammenfallende med omveltning av vannmassene i innsjøene.



Figur 6. Ulike NOM partiklers størrelse, form og innbyrdes mengde

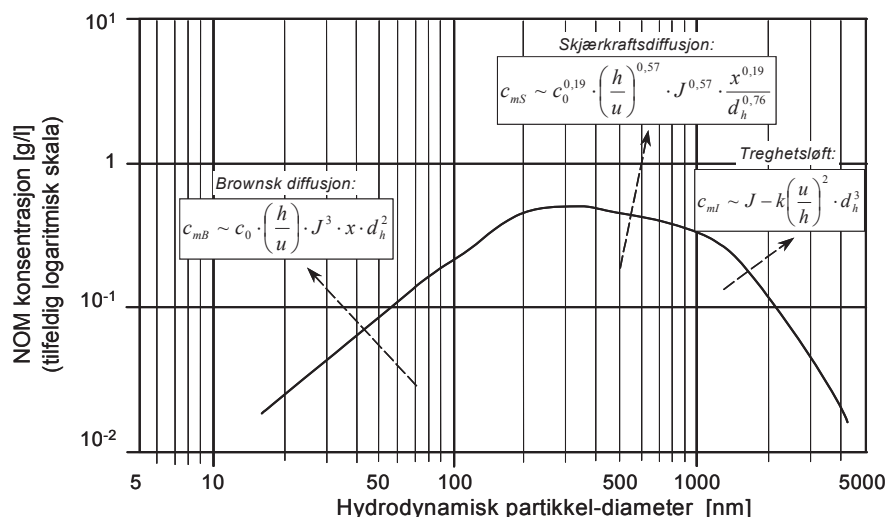
Forståelse av hvordan partiklene oppfører seg over membranen

Bevegelsene til partiklene som bringes med råvannet inn mellom membranene i en modul vil styres av tverrstrømmen, fluksen mot membranen og ulike diffusionsmekanismer. Disse mekanismene er viktige for å unngå opphopning av partikler på membranen og er vist på figur 7. Effekten av skjærkraftdiffusjon og treghetsløft øker med tverrstrømhastigheten, u , som derfor er viktig.



Figur 7. Ulike diffusionsmekanismer som bidrar til å fjerne partikler fra membranoverflaten

Teoretiske beregninger og forsøksresultater viser at det hovedsaklig er partikler i området 0,1 – 2 μm som gir belegg. Dette er vist i figur 8, som viser hvordan driftsbetingelsene vil påvirke beleggdannelsen. For NOM gjelder at når partikkelkonsentrasjonen overstiger 5 g/l ved overflaten dannes belegg. Den totale konsentrasjon av partikler er vist i boksene ved kurvene i figuren (c_m). Brownsk diffusjon hindrer at små partikler er et problem, mens treghetsløft hindrer at store partikler danner belegg.

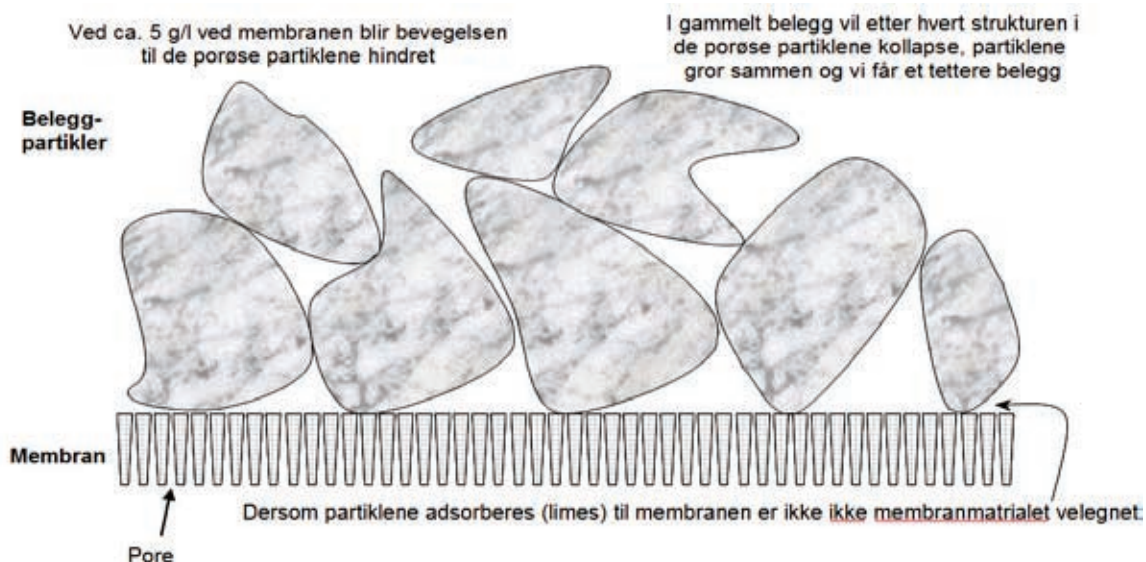


Figur 8. Effekten av driftsbetingelsene for konsentrasjonen av NOM-partikler på membranoverflaten

I figuren er d_h partikkeldiameteren, h er kanalhøyden, J er fluksen, u er tverrstrøms-hastigheten, k er en konstant og c_0 er totalkonsentrasjonen. Formlene viser at:

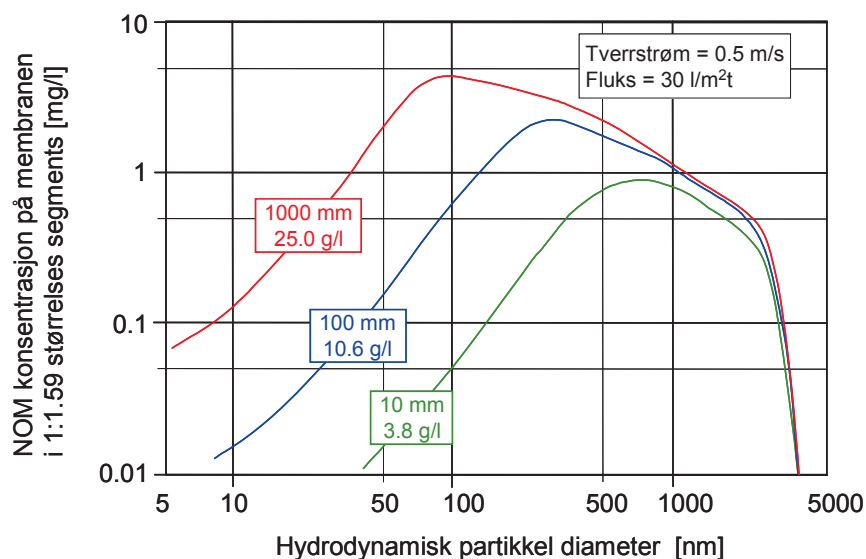
- Høy fluks øker faren for beleggdannelse, spesielt for små partikler. For de mest kritiske partiklene øker beleggfaren omlag med kvadratet av fluksen.
- Tverrstrøms-hastigheten reduserer beleggdannelsen, både for små og store partikler. Faren for beleggdannelse reduseres omlag med kvadratroten av hastigheten.
- Høyere konsentrasjon av beleggdannere øker faren for beleggdannelse opphøyd i 0,2 dersom skjærkraftdifusjon er begrensende og opphøyd i 1,0 dersom Brownsk diffusjon er begrensende. Det vil si at høy råvannskonsentrasjonen har en begrenset men reell effekt.

Figur 9 viser hvilke dimensjoner en typisk partikkel som skaper belegg har i forhold til porene i membranen. Typiske beleggpartikler er porøse med et nettverk av polysakkarider (planterester). Disse kan immobiliseres ved en konsentrasjon på membranoverflaten over ca. 5 g/l. Dersom ikke partiklene fjernes ofte, helst innen ca. 2 dager, vil vevs-strukturen gradvis kollapse og vi får et tettere belegg som er vanskeligere å fjerne. Dette gjelder altså NOM, men også andre partikkeltyper kan noen ganger skape belegg, for eksempel leire og breslam.



Figur 9. Illustrasjon av hvordan typiske beleggdannende NOM-partikler

Figur 10 viser et eksempel på konsentrasjonspolarisering i en membrankanale uten spacer-nett, dvs. at det ikke vil være noen akkumulering av partikler i nettet slik det kan være i et normalt membranlegg. Variasjonene i partikkelkonsentrasjon vil da kun skyldes oppkonsentrering på grunn av at rensset vann passerer membranen mens partiklene forblir på råvannssiden. Figuren viser konsentrasjonen av ulike partikkelstørrelser på membranen ved ulik avstand fra innløpet. På membranen dannes en oppkonsentrert film på grunn av fluksen og denne beveger seg langs membranen og blir mer konsentrert lenger inne i kanalen.



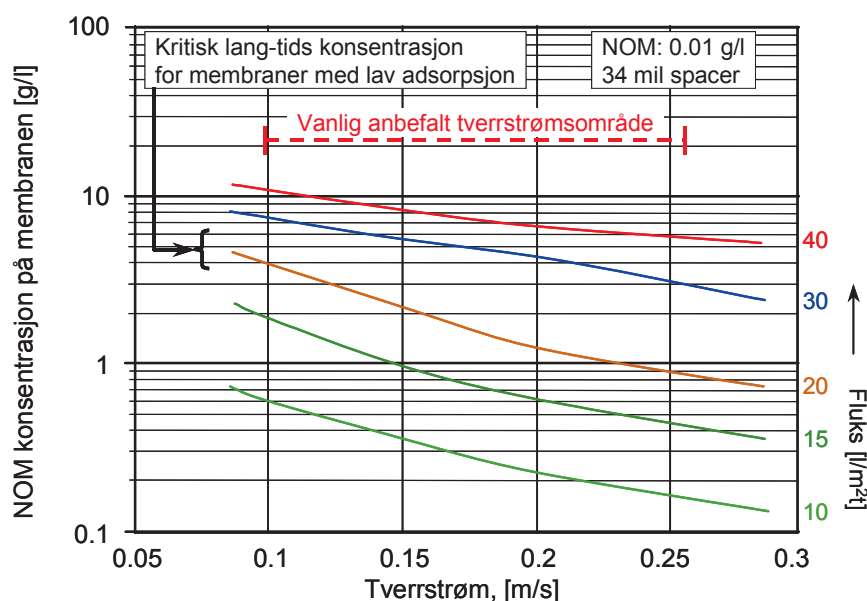
Figur 10. NOM konsentrasjon på membranoverflaten i en åpen membrankanale. Den samlede konsentrasjon i g/l av alle partikkelstørrelser og avstandene i mm fra innløpet er angitt på kurvene.

Partiklene bringes til membranoverflaten med fluksen. Heldigvis vil diffusjonsmekanismene motvike en uhemmet oppkonsentrering her, men en får likevel en viss oppkonsentrering, såkalt konsentrasjonspolarisering. Mangelfull diffusjon av partikler bort fra membranene medfører høy polarisering, noe som igjen reduserer renseeffekten og øker faren for dannelse av belegg på membranen.

Figuren viser at overflatekonsentrasjonen varierer, men også at det er ulike partikkelstørrelser som hoper seg opp. Det viser seg at konsentrasjoner rundt 5 g SS/l er kritisk for beleggdannelse, noe som i eksempelet i figur 8 vil medføre fare for beleggdannelse. I spiralmoduler kan en operere med maksimal fluks rundt 25 l/m²•t under gunstige forhold uten å få betydelig beleggdannelse, mens en slik fluks under mindre gunstige forhold har gitt beleggdannelse og nedsatt kapasitet på anlegget. De mest kritiske partikkelstørrelsene i en spiralmembran er som nevnt på ca 0,1 – 2 µm.

Figur 11 viser et annet beregningseksempel der den totale overflatekonsentrasjon er beregnet for ulike fluksverdier og tverrstrømhastigheter for en standard spiralmodul. Anbefalt område for tverrstrøm tilsvarer som regel 0,12 – 0,3 m/s. Man bør unngå de høyeste verdiene på grunn av stort trykkløst, og de laveste verdiene på grunn av mer beleggdannelse. Da er området 0,15 – 0,2 m/s mest aktuelt. Da ser vi at det skal være mulig å oppnå en fluks på rundt 25 l/m²t.

På figuren er det angitt at disse verdiene gjelder en membran med lav adsorpsjon. Det antyder at ikke alle membraner egner seg like godt for humusvann fordi humus har en tendens til å sette seg fast i membranoverflaten og derved øke beleggdannelsen. Her må en altså finne fram til egnede membraner. Både innen polyamidmembraner, cellulosebaserte membraner og polyvinylidenfluoridmembraner finnes gode typer. En fellesnevner for de gode membranene er god fuktende karakter. Dessverre finnes ingen enkel måte å måle membranens fukteevne, så en er egentlig prisgitt leverandører og annen ekspertise.



Figur 11. Overflatekonsentrasjon for spiralmodul.

For standard 8" spiraler er anbefalt tverrstrømhastighet gjerne minimum 4, helst 5 m³/time og maksimum 15, helst 12 m³/time (0,1 – 0,25 m/s). Helst bør en holde seg under 11 m³/time. Fra et 6 m trykkrør har en ca. 3,5 m³/time permeat, slik at tverrstrømmen er 3,5 m³/time lavere i utløpet av trykkrøret enn i innløpet. Et kompromiss kan da være at en har 8,5-9 m³/time i tverrstrøm i innløpet og 5-5,5 m³/time i utløpet. Dersom konsentratstrømmen er 25-30 % av permeatet, dvs. ca. 1 m³/time, bør sirkulasjonsstrømmen være 7,5-8 m³/time.

Ulike typer potensielle beleggdannere

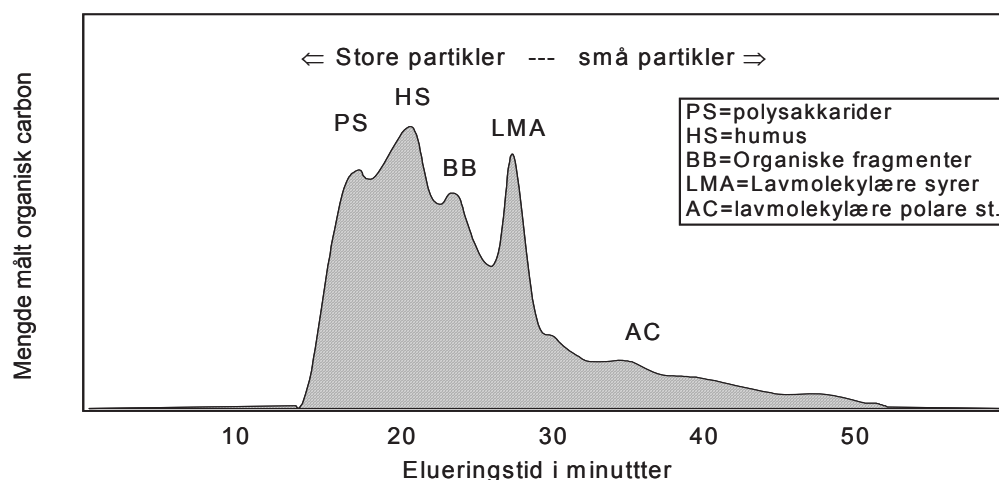
Vanlig forekommende stoffer i råvann som kan gi belegg er:

- NOM:** Naturlig organisk materiale; består blant annet av polysakkarider og humus. NOM vil danne belegg hvis konsentrasjonen overskrider ca. 5 g/l på membranoverflaten. Kan fjernes ved kjemisk vask.
- Silt:** Silt er små uorganiske partikler (silikater mm) med kornstørrelse 2-6 µm. Måles gjerne ved SDI (silt density index), som angir reduksjonen av filtreringshastighet over tid på laboratoriefilter. Metoden er upålitelig for vann med mye NOM. Silt er vanskelig å fjerne, og uvanlig mye silt i råvannet kan være et problem. Det er behov for bedre analyseverktøy for å beskrive faren for at det dannes et slikt belegg.
- Oppløst silikat:** Silikater finnes i alt naturlig vann, men oftest i konsentrasjoner mindre enn ca. 4 mg Si/l i Norge. Dette er under løseligheten, dvs. at det ikke utgjør noe problem. Et silikatbelegg er nesten umulig å fjerne.
- Kalksalter:** Dette er naturlige kalksalter som karbonater, men det er lite kalk i bløtt norsk råvann. En kan få kalkutfelling ved membranfiltrering av grunnvann, men dette belegget fjernes vanligvis lett med sitronsyre.

Det er verd å merke seg at det på vanligvis er mer uorganiske salter i råvannet enn NOM, selv i bløtt norsk overflatevann. De uorganiske saltene er imidlertid lavmolekylære, og har derved en høy diffusjonshastighet. Da blir overkonsentrasjonen på membranoverflaten lav, og ved bruk av bløtt norsk overflatevann som råvann er faren for belegg lav. For råvann med høyt kalkinnhold, som grunnvann, kan imidlertid beleggfaren være betydelig.

NOM og silt som beleggdanner

Vanlig norsk råvann er spesielt på grunn av det lave innholdet av kalksalter og naturlig oppløst silikat. Derved blir NOM en viktig og spesiell "norsk" beleggdanner. NOM er forøvrig ansett å være en vanskelig beleggdanner i membranfiltrering over hele verden, og det kan være nyttig å se litt på hva humus består av rent kjemisk. Figur 12 viser hvordan grupper av ulike organiske stoffer skilles i en såkalt kromatografisk analyse. Kromatogrammet viser at stoffene kommer ut i grupper karakterisert ved en topp på kurven. I et kromatogram vil de største molekylene komme først (minst elueringstid).

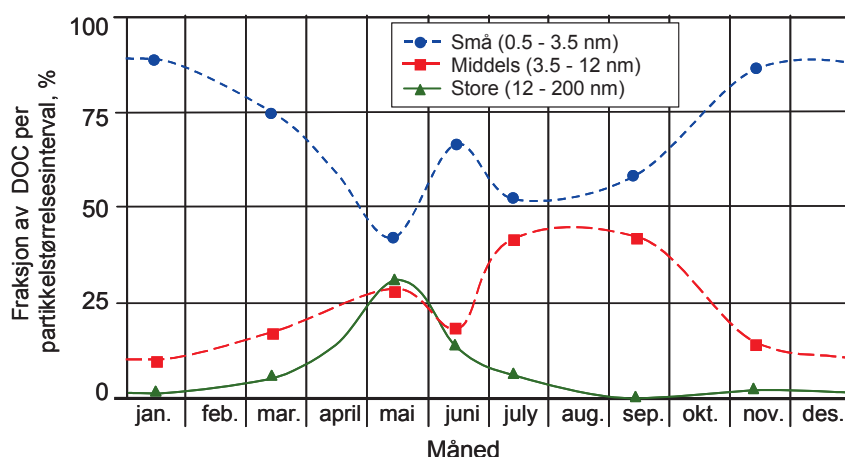


Figur 12. Kromatografisk fraksjonering av NOM (etter Frimmel and Hesse, 1996).

Stoffer som en ikke forventer vil slippe gjennom membranen er polysakkarider, humussyrer og organiske fragmenter. De siste omfatter for eksempel polyfenoler, som er typiske rester fra den kjemiske og biologiske nedbrytningen av planter i naturlig råvann. Større NOM-molekyler i naturlig bløtt vann er langkjedete eller porøse, dannet av

sammenfiltrede kjeder, bestående av mange slike fragmenter som er bundet sammen. Fargen ligger stort sett hos humussyrene (HS) og polysakkarider (PS), og danner armeringen i de største partiklene.

Konsentrasjonen av partikler i råvannet påvirker også beleggdannelsen, men i overraskende liten grad. (Fluksen ser ut til å være den viktigste faktoren for beleggdannelsen.) Figur 13 viser hva årstiden betyr for partikkelstørrelsen av NOM.



Figur 13. Andel partikler av ulike størrelse i råvann til ulike årstider (Nederlandske data).

Det er størst konsentrasjon av store beleggdannende partikler sent på våren når jordsmonnet tiner. For å gi samme tendens til beleggdannelse både vår og vinter må fluksen reduseres med 20 % på våren.

Uvanlige konsentrasjoner av silt, som fraksjon i leire eller breslam, kan forekomme lokalt. Slike partikler er vanskelig å vaske bort og kan medføre et nesten uløselig beleggproblem, Silt kan også bakes inn i et membranbelegg av NOM og medføre at også NOM-belegg blir vanskeligere å fjerne.

Biofouling og sammensetning av belegg

Biofouling vil si at bakterier og eventuelt andre mikroorganismer begynner å vokse på råvannssiden av membranen og derved danner belegg (biofilm). Forsøk ved SINTEF viser at dersom en ikke sørger for regelmessig skylling av anlegget med f.eks. klorvann, så vil en bakterieoppblomstring skje, mest sannsynlig etter noen hundre driftstimer. Dette vil øke muligheten for at bakterier bidrar til et vanskeligere belegg.

Bakterier kan også gro på rentvannssiden av membranen. Membranrenset vann inneholder mindre humusstoffer, som antas å ha en viss bakteriehemmende effekt, og derved blir de resterende lavmolekylære organiske stoffene mikrobiologisk lettere tilgjengelig som føde for bakterier. Det er stilt spørsmål om dette kan medføre et økt innhold av bakterier i rentvannet og på nettet etter membranlegg. Analyser av vannets begroingspotensial målt som biologisk nedbrytbart organisk karbon (BDOC) og assimilerbart organisk karbon (AOC) på renset vann fra ulike typer renseanlegg er vist i tabell 1.

Tabell 1. Reduksjon av DOC¹⁾, BDOC og AOC i renset vann fra 17 vannverk med NOM-fjerning i Norge (etter Hem and Charnock, 1999)

Behandlingsmetode	Desinfeksjonsmetode	Antall anlegg	Midlere renseeffekt (%)		
			AOC	BDOC	DOC ¹⁾
Membranfiltrering	Ingen	3	-3	65	78
Koagulering/separasjon	Klorering	4	14	54	58
Koagulering/separasjon	UV	2	61	65	54
Ionebytting	UV	2	54	68	40

1) Oppløst TOC

Disse resultatene viser at det ikke er noen reduksjon av AOC ved membranfiltrering. AOC måler vekst av én eller to typer mikroorganismer, og er et mål på mengden lett biologisk tilgjengelig organisk materiale. BDOC, som angir reduksjon i DOC over 28 dager, inkluderer også noe tyngre nedbrytbart organisk materiale, og denne parameteren reduseres i membranlegg på linje med andre rensemeter. Det antas at dette har sammenheng med AOC utnytter hovedsaklig lavmolekylært organisk materiale, mens BDOC utnytter NOM over et videre molekylvekt-spekter.

Dersom bakterier kan dannes på nettet så kan de også dannes i membranlegget. Ingen systematisk undersøkelse av en slik kopling er imidlertid kjent for norske forhold, men de viser at det er viktig at klorskyllingen som ofte benyttes på natten i forbindelse med døgnvask av celluloseacetatmembraner når fram til alle deler av anlegget. Dette er et spørsmål om fornuftig anleggsutforming og rutine for klorskylling.

Foruten bakterier i rentvannet og i membranbelegg, kan bakterier også "spise" hull på membranen. Dette vil gjerne skje etter 300 - 1000 timers drift uten noen desinfeksjon, særlig hvis anlegget står noen timer av og til. Selv om stopp av og til kan være gunstig for diffusjon av begynnende belegg bort fra membranen, bør ikke stopptidene vare mer enn noen få timer. Tverrstrømmen hindrer bakteriene i å etablere seg på råvannssiden av membranen under drift. I tillegg kommer forhold knyttet til biofilmdannelse på rentvannssiden, som det ser ut til at fremmes ved rutinemessig stans om natten (se kapittel 4.2 og 6.5).

Analyser av belegg som er dannet på membraner etter lang tids bruk viser at sammensetningen fordeler seg slik:

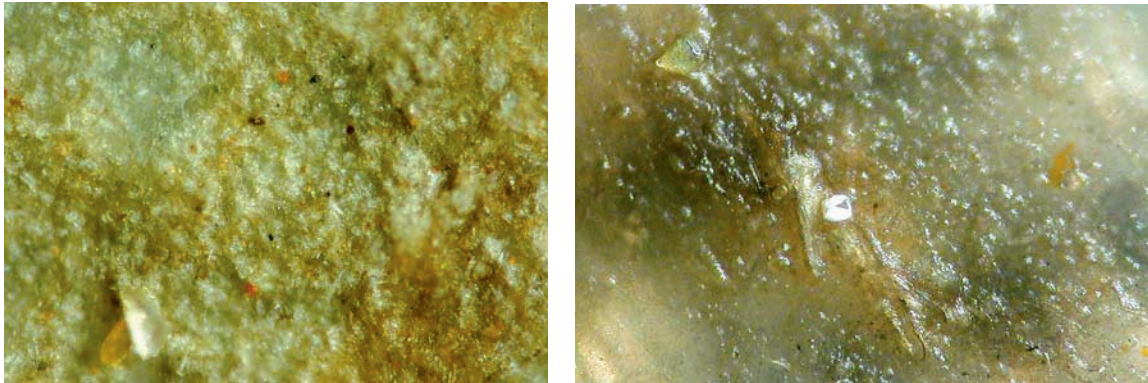
- Organisk stoff (mest NOM): 25 - 75 %
- Uorganisk stoff (mineralsk): 75 - 25 %
- Bakterieinnhold: Vanligvis lavt

Fargen er normalt mørkebrun. Hvis innholdet av uorganisk stoff er over ca. 70 % og anlegget har et beleggproblem, kan en mistenke at silt og/eller leire kan være del av problemet.

Det vanlige er at belegget kan beskrives som dominert av NOM (humus), med et varierende innhold av mineraler. Mineralene er dels bundet i humus, men har ofte også et innslag av silt og leire. Biofouling er ikke spesielt vanlig, men det forekommer. Beleggets farge kan indikere årsaken til problemet hvis anlegget har redusert kapasitet over tid. Som en grov indikator kan en si at fargen indikerer:

- Mørkebrunt: Humus
- Gråere: Innslag av ren leire (mineraler)
- Geleaktig: Biofouling

Figur 14 viser eksempler på belegg. Ved en nærmere analyse av et beleggsproblem må en membranmodul undersøkes av erfarne folk, og resultatet må sammenholdes med en råvannskarakterisering og en gjennomgang av anleggets oppbygning og drift.



Figur 14. Typisk humusbelegg tørker til en brun masse, mens mineral sees som prikker (venstre). Gelaktig konsistens varsler om biofilm (høyre).

Valg av membran

Det viktig å velge en egnet membran for å oppnå god driftsstabilitet, særlig med hensyn til muligheten for å kunne rengjøre membranen effektivt ved en hovedvask.

Som nevnt vil valg av membranmateriale påvirke hvorvidt membranen tiltrekker seg NOM med derav følgende økt fare for belegg. Det er spesielt hydrofobe humus-forbindelser som lett kan feste seg til membranen. I en undersøkelse ble ulike membraner dyppet i avløpsvann fra en treforedlingsbedrift. Slike avløp inneholder mange av de samme stofftypene som NOM. Som tabell 2 viser synes gode varianter av regenerert cellulose, polyamid, PVDF og celluloseacetat å være de beste valgene.

Tabell 2. Membranens permeabilitet etter dypping i konsentrert avløp fra treforedlingsbedrift.

Membranmateriale	Restkapasitet
Regenerert cellulose, CE	102 %
Polyamider, PA	102 %
Polyvinylidenfluorid, PVDF	82 - 95 %
Celluloseacetater, CA	53 - 91 %
Polyacrylonitril, PAN	70 %
Polyeterimide, PEI	30 %
Alle polysulfoner, PS, PSS, PES etc.	29 %

Nesten alle membraner som brukes i norske anlegg er laget av celluloseacetat. Denne plasten har vist seg å ha god motstand mot beleggdannelse og å være lett å vaske ren. Polyamid synes å være egnet, men ulempen her er at denne plasten har dårlig toleranse overfor klor, som brukes til å kontrollere bakterievekst i anleggene i Norge. PVDF synes

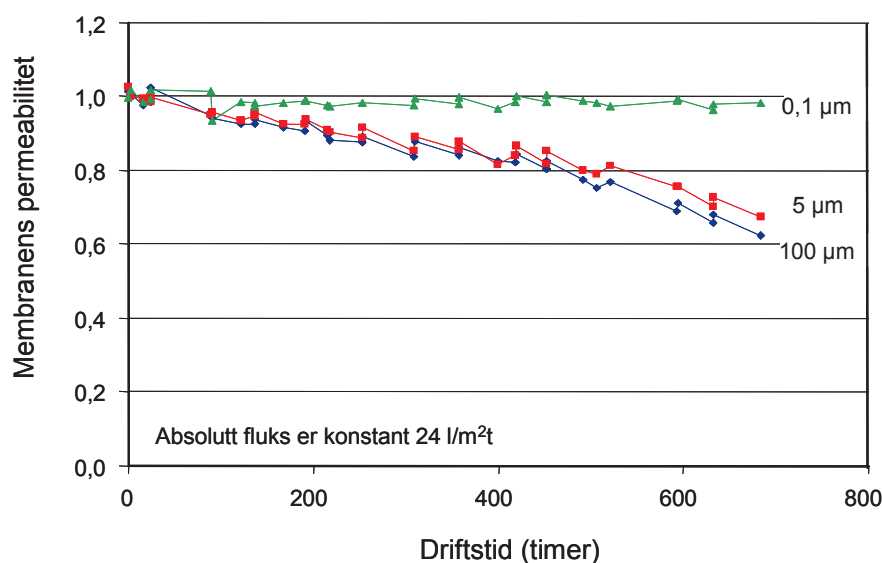
gunstig, men er etter SINTEFs erfaring vanskeligere å vaske ren. Dessuten er både polyamid og PVDF normalt dyrere enn celluloseacetat.

Tabell 2 viser at polysulfoner kom dårlig ut. Disse membranene mistet mye av sin kapasitet. Dette er også erfaringen etter flere pilotforsøk ved SINTEF. Polysulfoner er dessuten vanskeligere å vaske rene selv med sterke midler enn celluloseacetat med et nøytralt vaskemiddel. Polysulfoner er en meget vanlig membran og den har stor kjemisk motstandskraft. Den kan derfor vaskes kraftig. Men det hjelper altså ikke for humus.

En ugunstig membran kan etter et halvt år ha mistet halve kapasiteten og er i praksis umulig å vaske tilbake til opprinnelig standard. Det illustrerer hvor kritisk membranvalget kan være, noe man neppe ofrer en tanke i anlegg med god drift. Her må en stole på leverandøren.

Forfiltreringens betydning

Det er åpenbart at en vil kunne øke fluksen, dvs. membranenes kapasitet, ved å filtrere bort de kritiske beleggdannende partiklene i et forfilter. Dessverre kreves det høy effektivitet i slike filtre dersom de skal gi god beskyttelse mot belegg. SINTEF har gjort forsøk som klart indikerte at teorien om at beleggdannelse skyldes partikler med størrelse ca. 0,1 – 2 µm er riktig, se figur 15. Forsøkene ble utført døgntkontinuerlig med membraner av samme type som i norske anlegg, og med en fluks på 24 l/m²•t, dvs. ca. 30 % over vanlig fluks i tekniske anlegg i dag. En så vidt høy fluks ble benyttet for sikre at en fikk dannet et belegg. Denne fluksen vil gi belegg i tekniske anlegg hvis man ikke er spesielt heldige med råvannskvaliteten.



Figur 15. Relativ fluks for samme membrantype med tre ulike forfiltre (0,1 – 100 µm).

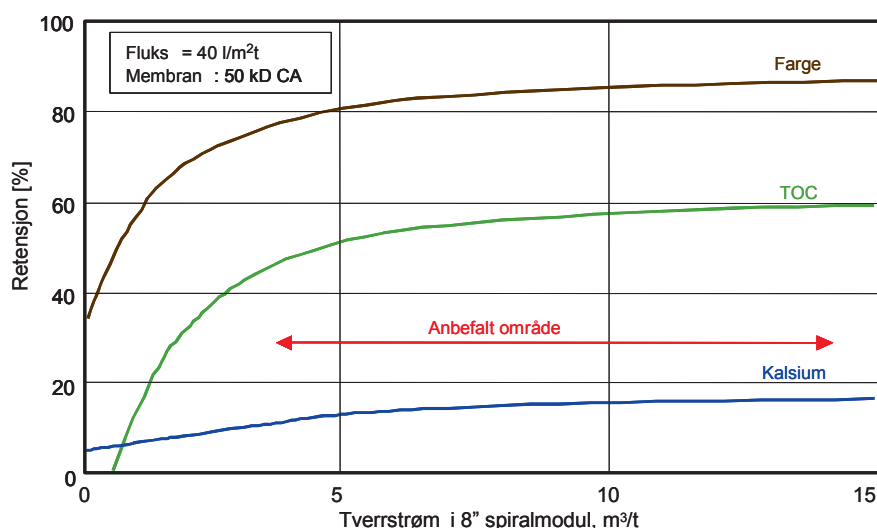
Figuren viser klart at et 0,1 µm forfilter ga helt stabil kapasitet, dvs. at en ikke fikk dannet noe membranbelegg, mens filtre fra 5 µm og oppover ga betydelig beleggdannelse. Beleggdannelse er sterkt avhengig av membranens fluks. Derfor begrenses fluksen bevisst i dagens anlegg. Likevel oppstår noe belegg i mange anlegg. Membranene har en fluks-kapasitet som langt overstiger det en kan utnytte i dag. Med bedre forfiltre kan en håpe på:

1. Økt kapasitet (+10 – 30 %) på eksisterende anlegg og lavere pris på nye anlegg.
2. Mer stabil drift for anleggene, inkludert forfiltre/siler.
3. Bedre renseseffekt med de samme membranene (+ ca. 5 %).
4. Mindre membranvask og kjemikaliebruk

Verdien av et bedre forfilter vil være meget stor. Det aktuelle filterområdet, $0,1 - 2 \mu\text{m}$, er imidlertid teknisk sett problematisk. Eksisterende filtertyper er etter vårt kjennskap ikke realistiske for formålet. Enten er de uforholdmessig dyre, eller de krever mye manuelt arbeid. Det pågår arbeid for å utvikle et økonomisk akseptabelt forfilter.

Renseeffekten kan variere

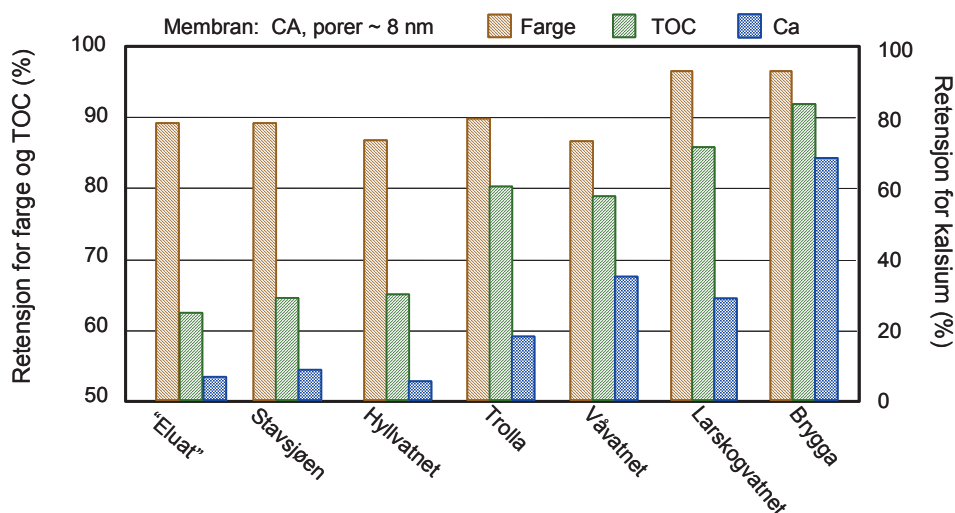
Resirkulasjon av konsentrat til innløp er ofte nødvendig for å opprettholde tilstrekkelig tverrstrøm. Dette bidrar til å begrense beleggdannelse, men vil øke konsentrasjonene i anlegget og redusere renseeffekten. Det kan også bidra til mer belegg, hvilket resirkulasjonen i utgangspunktet skulle hindre. Både fluks og tverrstrømhastighet vil påvirke renseeffekten. Forsøk har imidlertid vist at vanlige fluksverdier har relativt liten innvirkning. Figur 16 viser tverrstrømhastighetens betydning. I figuren er renseeffekten representert ved retensjon (lokal renseeffekt, se side 9). Resultatene er fra forsøk med membraner som har molekylvekt-cut-off på $8 - 20 \text{ kD}$, litt mer åpne enn vanlig i norske anlegg i dag. Likevel er renseeffekten tilstrekkelig for mange norske råvann.



Figur 16. Retensjon for ulike tverrstrømhastigheter

Figur 16 viser at med denne membranen var fargefjerningen ca. 80 % ved $5 \text{ m}^3/\text{time}$ i tverrstrøm, og sank kraftig dersom tverrstrømmen ble redusert. Det var ikke mulig å oppnå vesentlig økt renseeffekt ved å øke tverrstrømmen utover $5 \text{ m}^3/\text{time}$.

Partikkelstørrelsesfordelingen vil være ulik for ulike råvann. Figur 17 viser renseeffekt for syv ulike vannkilder. Membranen som er benyttet i forsøkene som er bakgrunnen for figuren er relativt åpen. Fordelen med åpnere membraner er lavere driftstrykk og mindre fjerning av mineraler og alkalier. På den annen side blir det vanskeligere å få jevnt driftstrykk på grunn av trykkfallet langs membranen.



Figur 17. Retensjon for ulike vannkilder (membran med ca. 8 nm porer) (Thorsen 1999)

Figur 17 viser at det var mulig å oppnå en betydelig fargefjerning for alle råvannstypene, fra 86 til 97 %. Renseeffekten med hensyn på TOC varierte fra 62 til 91 %, og renseeffekten med hensyn på kalsium varierte fra 7 til 67 %. Generelt var det slik at dersom renseeffekten med hensyn på farge og TOC var høy var renseeffekten med hensyn på kalsium også høy. Resultatene illustrerer at de renseeffektene en kan oppnå med en gitt membran vil variere avhengig av råvannskilde. Figur 17 viser også nytten av forundersøkelser for å kunne forutsi renseeffekten i et nytt anlegg.

2.2. Noen generelle erfaringer

Membranfiltrering ble tatt i bruk som metode for humusfjerning på et tidspunkt da takten i utbyggingen av slike renseanlegg var økende. Antall anlegg har vokst meget raskt sett i forhold til utbredelsen av kunnskapene om den. Mangelen på kunnskap var og er dels absolutt i den forstand at grunnleggende forståelse av humusfiltrering spesielt var mangelfull. Det både var, og er fremdeles, til dels mangelfulle kunnskaper hos dem som skal vurdere og velge metode for et vannverk.

Hvis man skal sammenfatte noen av de viktigste erfaringene fra de første ti års bruk av membranfiltrering av humusholdig drikkevann, kan følgende punkter utgjøre en stikkordsliste på godt og ondt:

- Membranfiltre representerer et **nytt renseprinsipp** for humus uten bruk av kjemikalier i selve rensingen (som ved koagulering og ionebytting).
- Tidlige anlegg viste **god driftsstabilitet og små krav til bemanning** og dette bidro sterkt til popularitet og rask vekst.
- **Kvaliteten på renset vann var god og stabil.**
- Det er stadig **behov for kjemikalier** til renhold av membranene.
- Membranene **mister noe kapasitet** over tid.
- **Membranlevetiden er høyere** enn før antatt, men etter 5 – 9 år er utskiftninger startet.
- Driftproblemer er først og fremst knyttet til **utilstrekkelig membranvask** ved noen anlegg, samt driftproblemer og/eller underdimensjonering av trykksiler til forfiltrering.
- En stor andel av problemene er knyttet til **beleggdannelse på membranene.**
- Ved anlegg som stoppes i mer enn et halvt døgn må membranene konserveres, for eksempel med natrium bisulfitt (0,5-3 g/l avhengig av lengde på driftsstansen)

Det er mange ting en kunne tenke seg å forbedre ved metoden. Men det er hevet over enhver tvil at å hindre beleggdannelse er viktigst. Det er knyttet til vaskemiddelforbruk, driftforstyrrelser, kapasitetsnedgang, overbelastning av forfilteret og sist men ikke minst totaløkonomi, inklusive pris på nye anlegg. Et bedre forfilter må ha høy prioritet. Men utviklingen av et slikt bør skje i kontrollerte former. Det er meget lett å bruke mye tid og penger på prøving og feiling i *for* stor skala med *for* lite forkunnskaper.

Dernest er det trolig en god del å hente på bedre membraner. Men det er ingen enkel oppgave og en bør ha kontroll over de parametere som beskriver membranenes egenskaper.

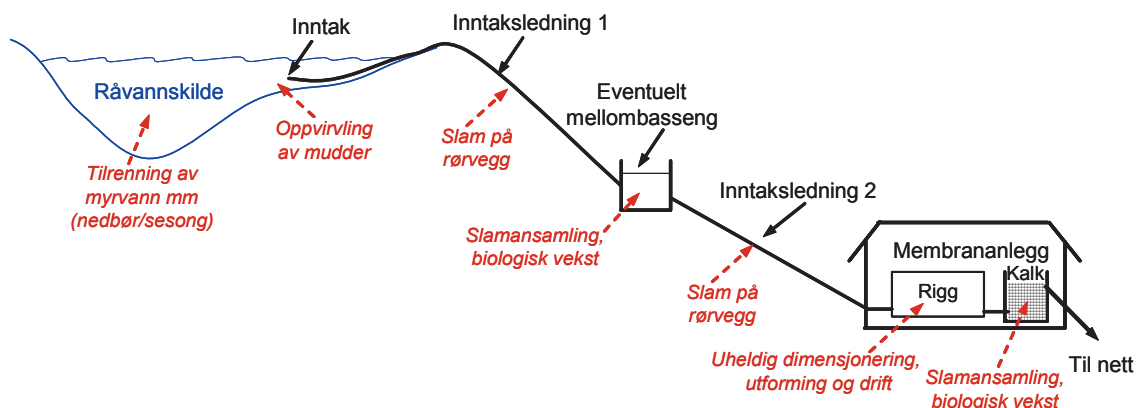
Uregelmessigheter i driften av anlegg er ofte knyttet til mangelfull hygienisk barriere eller nedsatt kapasitet med beleggdannelse på membranen. Erfaringer fra problemanalyse ved flere anlegg viser at det kan være et omfattende arbeid å finne årsaken til problemene. Grunnen til dette kan være:

- Mangelfulle journaler, slik at drift, hendelser og erfaringer ikke kan fastlegges klart i ettertid
- Mangelfulle data for råvannskvalitet over tid og over året
- Åpenbare årsaker har ofte vært ordnet undervegs slik at problem ikke oppsto. Bare de årsaker som er vanskelig å forklare gjenstår

Det vanligste problemet er uten tvil belegg på membranen. Membranbelegg er oftest kjemisk, men er av og til biologisk dominert og dette gjør det vanskeligere å holde belegg borte. Erfaringsmessig er ikke biologisk vekst på membranen et hyppig problem i anleggene, men det kan være et problem på rentvannssiden.

Belegg og nedsatt kapasitet

Flere ulike årsaker til nedsatt kapasitet er mulige, og et sammenfall av uheldige forhold vil ofte være hovedproblemet. En generell erfaring er at det er arbeidskrevende å finne den egentlige årsaken. Derfor må en være forsiktige med å trekke raske konklusjoner. Det bør settes opp en strategi for slikt arbeid. Figur 18 summerer opp noen årsaks-*”steder”*. Alle de problemtypene som er antydnet i figuren er funnet eller mistenkt i konkrete anlegg.



Figur 18. Årsaks-*”steder”* for kapasitets- og beleggproblemer ved membranlegg (problemtypene er med kursiv rød tekst)

Det er hovedsakelig partikulært materiale over 0,1 μm i størrelse som skaper problemer. Partikler i området 0,1 – 2 μm gir direkte membranbelegg. Mellom 2 og 50 μm finnes partikler som kan sette seg i spacer-nettet mellom membranene, hvilket gir trykkfalls oppbygning og redusert sirkulasjon som igjen øker beleggdannelsen, og en kan få en *”ond sirkel”*. Alle anlegg har eller burde ha 50 μm forfiltre (trykksiler og/eller ev. sandfilter), så større partikler enn 50 μm burde ideelt sett ikke være noe problem.

Partikler over 3 – 5 µm vil normalt sedimentere i kilden, så ved akkumulering av partikler i spacer-nettet kan en mistenke at mudder fra inntaket har trengt inn i membranmodulen (uheldig plassering, høyde over bunn, vind/omsnuing). Lange inntaksledninger får belegg på innsiden som kan løsne, og spesielt etter plugg-kjøring. Mellombasseng kan gi opphoping av større partikler og også biologisk vekst, og dette er det uheldig å få inn i membranet. På slike anlegg vil fjerning av partikler over for eksempel 5 µm kunne ha en positiv effekt.

Høy fluks og/eller for lav sirkulasjon er ofte årsaken eller en medvirkende årsak til problemer. Forøk har vist at det er umulig å gjenvinne 90 % av råvannet som permeat, fordi beleggdannelsen blir betydelig. For å oppnå god drift bør gjenvinningsgraden være < 80 %, og helst ikke over 75 %.

Spesielle råvannstyper (leire, mye myr, flomvann, brevann) er også årsakskandidater. Å få en god anleggshistorikk kan være en utfordring i denne sammenhengen.

En god undersøkelse av problemårsaker kan kreve en gjennomgang av inntaksledning og kilde så vel som utforming og drift av anlegget. Dissekering av en membran er en god kilde til informasjon. Det gjelder innhold av humus, mineraler og/eller biofilm og gjerne også polysakkarid. Det er viktig å foreta en realistisk planlegging av undersøkelsen, og ha realistiske forventninger til resultatet. Problemkomplekset har vært lite systematisert hittil i norske anlegg. I tillegg er de norske anleggene spesielle, slik at relativt lite relevant informasjon kan hentes fra undersøkelser i andre land.

Det finnes et stort antall vaskemidler til membranet på markedet. Det er gjerne leverandøren av anlegget som rutinemessig utfører årlig hovedvask. I tillegg er det i norske anlegg vanlig å benytte et fortynnet "skyllemiddel" daglig, for å fjerne ferskt belegg mens partiklene ennå er lette å fjerne. Dette middelet er spesielt laget for formålet etter tallrike forsøk, og det anbefales å følge leverandørens anbefalinger. Det ville vært en fordel om leverandørene hadde to-tre alternative "skyllemidler", tilpasset hva slags belegg en får i de ulike anleggene.

Svikt i hygienisk barriere

Effektiviteten av anlegget som hygienisk barriere knyttes gjerne til bakterieanalyser som er tatt mer eller mindre regelmessig. Det er ikke alltid lett i ettertid å kontrollere om en mangelfull barriere er et resultat av bakterievekst i rentvannet eller en svikt i fraskillingen av bakterier. Rutineanalyser for bakterier er oftest ikke arts-entydige med hensyn til koliforme bakterier fordi miljøbakterier som ikke er indikatorer på forurensning kan slå ut på analysen. Da blir det vanskelig å fastsette om årsaken til en mangelfull barriere er membranlekkasje eller mangelfull desinfeksjon på rentvannssiden (membraner, rør, alkalisering mv.). Bakterieoppblomstring kan skje meget plutselig på rentvannssiden, for eksempel ved temperaturstigning på våren. Flere anlegg er trolig plaget av slik vekst.

Membranen er i utgangspunktet en ganske sikker barriere, men feil kan oppstå:

1. Utette o-ringer i konnektorer (forbindelsesrøret) mellom membranene eller i endeadaptere. Dette kan bl.a. skyldes at uheldig dimensjonering/drift gir trykkstøt som får membranene til stadig å forskyve seg
2. Limfuger i kantene i spiralmembraner skal være testet fra leverandør, men feil kan oppstå seinere
3. Teleskopering, dvs. forskyvning mellom membranlagene. Dette kan skyldes feil dimensjonering/drift eller etter trykkfallsoppbygning på grunn av gjenslamming av spacer-nettet. Dette kan også gi hull i membranen på grunn av gnaging eller svikt i limfuger

4. Nedbrytning over tid pga alder eller kjemikalier. 15 min med 10 ppm klor pr. dag vil ikke gi slik effekt på celluloseacetat-membraner (tåler 50000 ppm-timer), men brutal vask for eksempel med alkalier eller overdosering med klor over tid på grunn av feil kan gi slik nedbrytning.
5. Biologisk nedbrytning av membranen ved mangelfull konservering under stopp som varer mer enn noen få dager
6. Mekanisk belastningsskade på membranmodulen forårsaket av at uheldig dimensjonering/drift gir trykkstøt som får membranene til stadig å forskyve seg

Av disse feilene vil 1, 2 og 6 oppdages ved prøvetaking på de enkelte trykkrør. Feil 3, 4 og 5 vil gjerne være felles for alle trykkrør. Dette kan benyttes til å antyde en årsaks-type. En bør imidlertid ha en rutine ved mistanke om brudd i barrieren som kan skille klart mellom vekst på rentvannssiden og lekkasje i membranene (se kapittel 7.4).

2.3. Membranfiltrering som hygienisk barriere

Membranfiltrering med tilstrekkelig liten poreåpning kan anses som en hygienisk barriere ved at mikroorganismene fjernes som partikler. Kravene til poreåpning for barrierevirkning mot ulike typer mikroorganismer er vist i tabell 3. Veilederen til drikkevannsforskriften åpner for at membranfiltrering kan godtas som desinfeksjon (Mattilsynet, 2005).

Tabell 3. Krav til poreåpning for å kunne anse en membran som en hygienisk barriere (Mattilsynet, 2005)

Nominell poreåpning	<10 nm	<100 nm	<1000 nm
Virus	X		
Bakterier	X	X	
Bakteriesporer	X	X	
Parasitter	X	X	X

I tabell 4 er det vist resultater fra et lab-skala forsøk med tilbakeholdelse av mikroorganismer ved membranfiltrering. Membranfilteret fungerte som en batch filtreringsenhet, og det ble ikke tatt ut noen konsentratstrøm.

Tabell 4. Resultater fra lab-skala forsøk med membranfiltrering som hygienisk barriere (etter Storhaug, 2003)

Materiale	Nominell porestørrelse (nm)	Log-reduksjon			
		Bakteriofager	Koliforme bakterier	<i>E.coli</i>	<i>Clostridium perfringens</i>
Polyethersulphone	25	0,27-1,07	0,81-0,83	1	1,3
Polyethersulphone	14	0,91-1,38	2,1-2,5	2,8-3,6	>2
Polysulphone	6	>6	>4	>3,2	>1,4
Cellulose Acetate	5	2,5-3,1	-	-	-

Resultatene bekreftet at med porestørrelse < 10 nm fungerer membranfilteret som en barriere mot bakterier og virus, men gir grunn til å stille spørsmål ved om en membran med poreåpning > 25 nm vil kunne utgjøre noen barriere mot bakterier. Ulike typer membraner/produkter med samme porestørrelse ga ulik tilbakeholdelse.

I litteraturen er det rapportert om en lang rekke undersøkelser vedrørende barrierevirkningen ved ulike vannbehandlingsmetoder. I tabell 5 er det gitt en del eksempler på oppnådd reduksjon av ulike mikroorganismer ved membranfiltrering.

Tabell 5. Rapportert fjerning (log-reduksjon) av en del bakteriologiske parametere ved bruk av ulike behandlingsmetoder (pilot- eller fullskala anlegg)

Metode	Virus	Bakterier			Protozoer	
	Bakteriofager	Totalantall koliforme	<i>E.coli</i> , TKB/ fekale koliforme	<i>Clostridium perfringens</i> , sulfittreduserende klostridier	<i>Giardia</i>	<i>Cryptosporidium</i>
Omvendt osmose/nanofiltrering	3-4,8 ⁵ 3-4,6 ⁴			>6 ³	>6 ³	
Ultrafiltrering	1,5->6 ³ >5,4 ⁵	7 ²		>6 ³	>6 ³	
Mikrofiltrering	0,8 ¹ 0,2-1,2 ³ 0,7-2,3 ⁵ 0,05-3,3 ⁴		0,1-3 ⁶		>5 ⁴	>5 ⁴

- 1) Randon (1997).
- 2) Jacangelo et al. (1991).
- 3) Jacangelo et al. (1995).
- 4) Adham et al. (1997).
- 5) Kruithof et al. (1997).
- 6) Krivobok et al. (1986).

Resultatene i tabell 5 viser at nanofiltrering kan forventes å utgjøre en hygienisk barriere mot virus, bakterier og protozoer. Ultrafiltrering kan forventes å utgjøre en hygienisk barriere mot bakterier og protozoer, mens effekten med hensyn på virus vil variere, og da trolig avhengig av porestørrelsen i membranene. Mikrofiltrering kan forventes å utgjøre en barriere mot parasitter.

I Storbritannia er et antall membranlegg, både mikro-, ultra- og nanofiltreringsanlegg, godkjent som barriere mot *Cryptosporidium* (DWI, 2008).

3. 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 klordoseringsutrustning 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 6.

Tabell 6. Antall vannverk med påviste indikatorbakterier eller kimtall > 100 kim/ml

År	Koliforme	<i>E.coli</i>	Kimtall (22°C) over 100	Intestinale enterokokker	<i>Clostridium perfringens</i>
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

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 7.

Tabell 7. *Antall vannverk med høye fargetall (høyeste registrerte verdi gjennom året)*

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

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 membrananeleggene 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.

4. Driftserfaringer med membranlegg; breddeundersøkelse

4.1. Metodikk

Breddekartleggingen besto i å tilskrive alle anlegg med membranfilter og be dem bidra til prosjektet på to måter:

- Fylle ut et omfattende spørreskjema (se vedlegg 1) for å få best mulig kunnskap om anleggenes utforming og funksjon
- Ta 3 prøver før og etter membranfilteret i løpet av en måned for å få kunnskap om funksjonen til selve filteret både med hensyn på fargefjerning og hygienisk barrierevirkning.

Vannverkene ble fulgt nøye opp pr. E-mail og telefon for å sikre at flest mulig av dem ga en utfyllende tilbakemelding.

4.2. Resultater

Det ble sendt ut spørreskjema til 98 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 membrananleggene. 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 kim/ml, og 4 anlegg hadde > 100 kim/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 antydnet 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 samvariasjon mellom enkelte erfaringer og vannkvalitetsparametre. Dette er kun gjort ved å sammenligne data, ikke ved noen statistisk analyse. Resultatet fra disse vurderingene er vist i tabell 8.

Tabell 8. Samvariasjon mellom enkelte erfaringer og vannkvalitetsparametre

	Fargetall i permeat (membranfiltrert vann)	Kimtall i permeat (membranfiltrert vann)	RåvannspH
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 µm.
- 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

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 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 medfører 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 døgntkontinuerlig 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 vaskemiddel med eller uten fosfat hadde ingen påviselig effekt på kimtallet i permeatet. Dette er i overensstemmelse 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 tilsynelatende ingen innflytelse på fargetall eller kimtall i permeatet. Kun et fåtall anlegg hadde byttet membraner, slik at membranenes levetid og sammenhengen 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 vannkvalitetsdata 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 mellom brudd i barrieren og fargetallet i rentvannet.

Det var ingen påviselig sammenheng mellom fouling på membranen og råvannskvalitet med hensyn på pH, turbiditet eller fargetall. Selv om en kunne forvente at organiske og uorganiske partikler bidrar til fouling, kan dette tilsa at turbiditet og farge ikke er egnede parametere for å beskrive potensialet for fouling.

5. Driftserfaringer med membrananlegg; dybdeundersøkelse

5.1. Metodikk

I del 1 av dybdeundersøkelsen ble 11 av de vannverkene som i breddeundersøkelsen hadde rapportert om driftsproblemer kontaktet pr. E-mail, og til dels også pr. telefon. Spørsmålene som ble stilt var:

1. Brudd i den hygieniske barrieren:
 - a. Hvordan ble dette oppdaget?
 - b. Er årsaken klarlagt, og hvis ja, hva var årsaken?
 - c. Hvilke tiltak er iverksatt på kort sikt for å sikre abonnentene et hygienisk trygt drikkevann, og på lengre sikt for å reetablere membranfiltrering som hygienisk barriere?
2. Forfilter:
 - a. Hvis forfilteret er byttet, hvorfor ble det byttet?
 - b. Er poreåpningen på filteret endret ved byttet?
 - c. Er fabrikat og/eller type endret ved byttet?
3. Fouling:
 - a. Hvordan er fouling påvist?
 - b. Er det avklart om det er organisk eller uorganisk materiale som er årsak til fouling? Hvis ja, hvilket materiale er årsak til problemet?
 - c. Er det mistanke om biologisk vekst på membranene, og i så fall hvorfor er mistanken oppstått?
 - d. Hvilke tiltak er iverksatt for å begrense fouling?
4. Høye kimtall:
 - a. Når på året opptrer høye kimtall? Synes vanntemperaturen å være avgjørende for kimtallet?
 - b. Opptrer høye kimtall primært ved fullsirkulasjon i kilden (om relevant)?
 - c. Oppsto høye kimtall brått og fortsatte, eller har det opptrådt sporadisk i lang tid?

Del 2 av dybdeundersøkelsen besto i prøvetaking og analyse av råvann og membranfiltrert vann fra 2 vannverk som har rapportert tidvis høye kimtall i membranfiltrert vann. Vannprøvene ble i begge tilfeller tatt under høstsirkulasjonen i råvannskilden. Vannprøvene ble analysert med hensyn på AOC (assimilerbart organisk karbon) som et mål på vannets begroingspotensial.

5.2. Resultater del 1

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 vannkvalitetsparametre. Ingen av anleggene hadde i forkant av bruddet noen rutiner for prøvetaking og analyse fra de enkelte membranrørene. 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. Svikt 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 membrananlegget for å opprettholde vannproduksjonen, samt at uheldig design har gjort at en har fått trykkstøt på membrananlegget under vask av forfilteret med mekanisk brudd i membranen som konsekvens. Ett vannverk 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 membrananleggets 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 tilstrekkelig med vann til abonnentene, og en har vært nødt til å ta en delstrøm i by-pass forbi membrananlegget 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.

5.3. Resultater del 2

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 2007. Prøvene ble analysert med hensyn på assimilerbart organisk karbon (AOC), og ved det ene vannverket også kimtall. Resultatene er vist i tabell 9 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.

Tabell 9. AOC og kimtall i råvann og membranfiltrert vann fra 2 vannverk med membranfiltrert vann

Parameter	Anlegg 1		Anlegg 2	
	Råvann	Membranfiltrert vann	Råvann	Membranfiltrert vann
AOC (µg 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

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 molekylerne 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.

6. Diskusjon av mulige tiltak

6.1. God journalføring

Dersom et problem oppstår ved et anlegg, bør en fortest mulig finne årsaken. Det er da alltid viktig at en har tatt vare på en god og korrekt anleggsbeskrivelse, inklusive dimensjoneringsdata. Ved nedsatt kapasitet på grunn av belegg på membranen er det viktig at en har en god journal som viser de viktigste driftsdata og kort beskrivelse av hendelser av betydning (tekniske problem, endringer i anlegget, dårlig råvann osv.). De viktigste driftsdata er:

1. Vannproduksjon, m^3/time
2. Driftstrykk inn på trykkrørene, bar
3. Driftstrykk ut fra trykkrørene, bar
4. Sirkulasjonsmengde, m^3/time
5. Konsentratmengde, m^3/time
6. Vanntemperatur. $^{\circ}\text{C}$
7. Hendelser av ulike slag

6.2. Tiltak for å forebygge og overvåke fouling

Typisk forbehandling før membranfiltrene i de anleggene som har svart på spørreundersøkelsene er selvspykende forfiltre med åpning på $50\text{ }\mu\text{m}$. Det synes som om denne forbehandlingen er valgt uavhengig av råvannstype og råvannskvalitet.

Generelt bør det foreligge gode data for råvannskvaliteten før et anlegg designes, og for membrananeleggene 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 $0,1\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$. Slike målinger bør også gjennomføres ved eksisterende anlegg der en har problemer med fouling. Forbehandlingen må dernest tilpasses den aktuelle råvannskvaliteten ut fra behovet for å beskytte membranet mot fouling.

Flere anlegg rapporterer om problemer knyttet til forbehandlingstrinnet. Problemene kan være knyttet til kapasitetsproblemer i selve forbehandlingstrinnet, eller fouling i membranet. I ett tilfelle har en uheldig utforming av forfilteret vært den direkte årsaken til trykkstøt i membranriggen, med skade på membranen og brudd i den hygieniske barrieren som konsekvens.

I enkelte tilfeller er driftsproblemene forårsaket av et forfilter som har en dårlig funksjon utbedret ved et skifte av forfilter til et annet merke eller en annen type med samme kapasitet og porestørrelse. Flere anlegg har i tillegg erfart at det opprinnelige forfilterets kapasitet har vært for liten, og et skifte til et forfilter med større kapasitet har løst problemene.

En større utfordring har en på de anleggene der en har fouling fordi mengden partikler $< 50\text{ }\mu\text{m}$ er for stor. I disse anleggene kan en ikke løse problemene ved kun å skifte til et annet forfilter, men en må revurdere type forbehandling. Å installere sandfilter kan være et alternativ, eller en kan vurdere kunstig infiltrasjon, langsomsandfilter, koagulering og partikkelseparasjon etc. Uansett vil dette medføre en betydelig utvidelse av vannbehandlingsanlegget.

En reduksjon i flux, dvs. redusert vannproduksjon pr. membran, **kan** redusere problemene med fouling. Dette innebærer imidlertid at en må utvide membranet uten at vannproduksjonen øker. Dersom tverrstrømmen har vært lav, $< 5\text{ m}^3/\text{h}$ i en $8''$ membran, kan en økning av tverrstrømmen redusere problemene. Til slutt kan en redusert gjenvinningsgrad, eller en mindre grad av resirkulering av konsentrat, dvs.

mindre resirkulert konsentrat, gi mindre fouling, men dette forutsetter selvsagt en tilstrekkelig kildekapasitet.

To av de viktigste tilstandsvariable for fouling er permeabilitet og spesifikt tverrstrømstrykk. Belegg medfører redusert permeabilitet for membranene (kapasitet), men dette kan lett kompenseres på kort sikt ved å øke trykket. Det gjøres uansett rutinemessig på vinteren fordi lavere råvannstemperatur forbigående også gir redusert permeabilitet, ca. 2,5 % reduksjon pr. °C. Det er avgjørende for vellykket drift at en oppdager redusert permeabilitet og fjerner årsaken. Spesifikt tverrstrømstrykk er det trykkfallet en vil ha langs membranen ved en tverrstrøm på 6 m³/time i en 8" membran, og en økning i spesifikt tverrstrømstrykk indikerer et økende trykkfall på grunn av slamansamling i spacer-nettet. Slik slamansamling vil redusere tverrstrømshastigheten og det vil igjen øke muligheten for økt slamansamling og membranbelegg. Dette er altså et selvforsterkende problem. Det samme kan sies om membranbelegg, der en membran som har et belegg har lettere for å fange om mer belegg enn en ren membran. Disse forholdene forsterker behovet for løpende oppfølging av anleggets tilstand. En effektiv membranvask er også viktig for å begrense slamansamlingen.

Utviklingen i permeabilitet over tid er en indikator på beleggdannelse på membranen, mens utviklingen i spesifikt tverrstrømstrykk er en indikator på slamansamling i spacer-nettet. Permeabilitet og spesifikt tverrstrømstrykk beregnes med formlene:

$$\text{Permeabilitet} = \frac{(\text{flux nær innløp} + \text{flux nær utløp})}{2} \cdot \frac{[1 + 0,025 \cdot (6 - \text{temperatur})]}{\text{middeltrykk}}$$

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

$$\text{Spesifikt tverrstrømstrykk} = (\text{innløpstrykk} - \text{utløpstrykk}) \cdot \left(\frac{6 \cdot 2}{\text{tverrstrøm inn} + \text{tverrstrøm ut}} \right)^{1,8}$$

Det anbefales at vannverk med membranfiltrering rutinemessig overvåker og journalfører permeabiliteten og spesifikt tverrstrømstrykk, for å fastslå utviklingen i beleggdannelse og om eventuelle problemer skyldes fouling på membranene eller slamansamling i spacer-nettet.

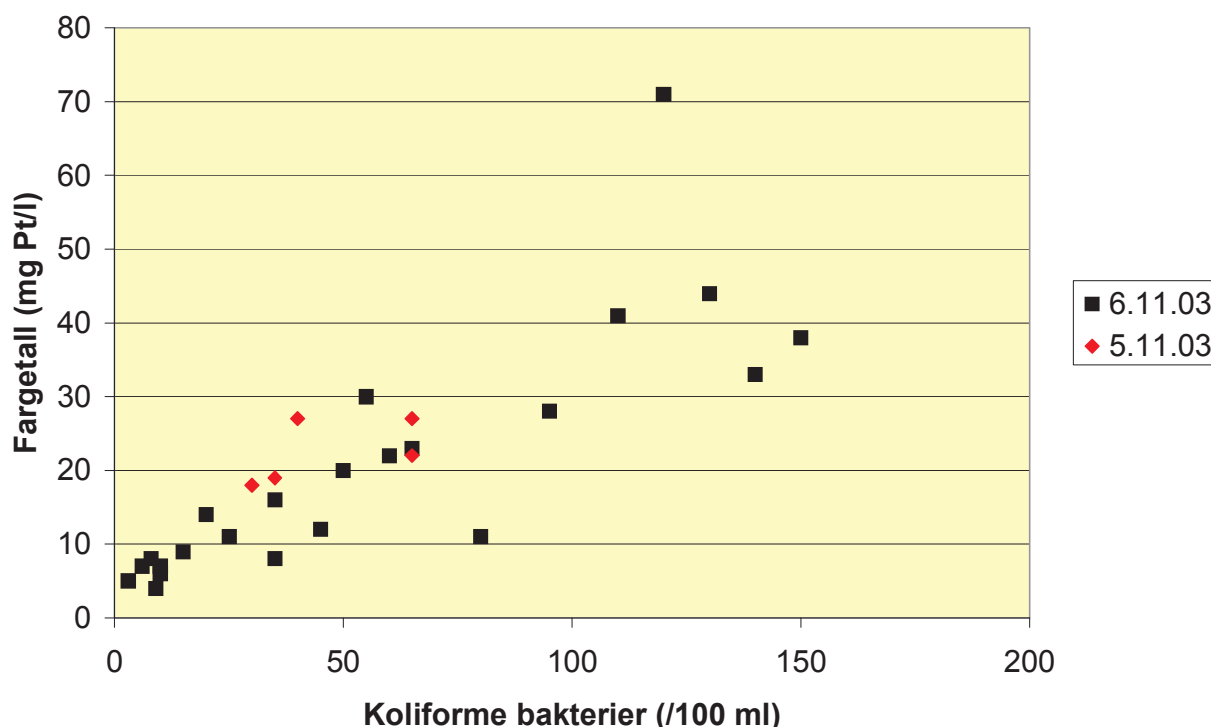
6.3. Kontroll av den hygieniske barrieren

En vesentlig årsak til at brudd i den hygienisk barrieren i membranfilteranlegg har fått så store konsekvenser som påvisning av koliforme bakterier på ledningsnettet, er at anleggene ikke har noen overvåkning eller indikatorparametre som kan gi et tidlig signal om at noe er galt. Uten indikatorparametre vil svikten i barrieren først bli påvist når det er koliforme bakterier i råvannet, og disse passerer membranet. Andre vannbehandlingsprosesser som for eksempel direktefiltrering og klorering har henholdsvis måling av turbiditet pr. filter og måling av restklor som indikatorer, og et system med indikatorparametre bør også etableres for anlegg med membranfiltrering.

I Norge er membranfiltrering primært installert for å fjerne farge forårsaket av humus- og fulvussyrer. I tillegg er det enkelte membranet anlegg som også fjerner salter. Dette skulle tilsi at farge, UV-transmisjon, og eventuelt ledningsevne burde kunne være egnede indikatorparametre. Utfordringen er at disse parametrene må måles pr. membranrør. (Det ideelle hadde vært måling pr. membran, men dette er ikke praktisk

mulig slik disse anleggene er utformet.) Måling pr. membranrør betyr imidlertid ikke nødvendigvis at en behøver én måler pr. rør. Dersom måleren tilføres vann fra rør nr. 1 i 15 min, dernest fra rør nr. 2 osv., kan en ved de fleste anleggene oppnå at rentvann fra alle rørene kontrolleres minst daglig. Et slikt styringsopplegg kan enkelt lages med magnetventiler og tidsur, og fortrinnsvis styrt av anleggets PLS. Det forutsetter dog mulighet for prøvetaking fra hvert rør, men et slikt prøvetakingspunkt burde uansett være en del av membrananleggene.

Et eksempel på sammenhengen mellom farge og koliforme bakterier etter membranfiltrering i defekte membraner er vist i figur 19.



Figur 19. Sammenhengen mellom farge og koliforme bakterier i rentvann fra defekte membraner testet enkeltvis i en forsøksrigg. (Gjerdrum, 2003)

Som resultatene i figur 12 viser vil fargetallet målt pr. membranrør være en indikator på hvordan anlegget fungerer som hygienisk barriere på det aktuelle anlegget. Det må imidlertid sies at konsekvensene av et "stort" hull i forhold til konsekvensene av mange små hull kan være forskjellig for fargetallet i rentvannet og den hygieniske barrieren. Mange små hull kan gi økt fargetall uten at barrieren brytes, mens ett "stort" hull kan gi brudd i barrieren uten at fargetallet stiger betydelig.

I Skottland har de implementert en integritetstest som går ut på å måle totale koliforme bakterier og *E.coli* i vannet inn på membranriggen og ut av hvert membranrør eller hver modul/gruppe av rør (Brown, 2008). For de vannverkene som har et høyt innhold av koliforme bakterier, eller andre identifiserte mikroorganismer, i råvannet, vil dette kunne være en pålitelig kontroll av den hygieniske barrieren. Pillipenko et al. (2008) har dosert MS2 bakteriofager og intestinale enterokokker til råvannet til et pilotanlegg, og målt innholdet i rentvannet etter suksessive punkteringer av membranen. Resultatene viser at innholdet av enterokokker i rentvannet økte noenlunde proporsjonalt med arealet av hullet som følge av punkteringen. (Resultatene fra analyse av MS-2 forelå ikke da artikkelen ble trykket.)

Pillipenko et al. (2008) har også vurdert ulike uorganiske parametre som indikator. Resultatene fra et begrenset antall målinger indikerte at ved store lekkasjer var både partikkelantall, TOC, UV-absorbans, fargetall og turbiditet egnet som indikatorer, mens ved mindre lekkasjer tydet resultatene på at kun partikkeltall og TOC var egnet for den aktuelle råvannskvaliteten. Hvorvidt det var mikrobiologisk vekst på rentvannssiden av membranen som kunne medføre en intermitterende tilførsel av partikler til vannet var ikke opplyst.

Crozes et al. (2004) konkluderte med at integritetstesting ved å måle trykkfall i den enkelte membran etter en trykksetting er den beste metoden, men dette er utstyr som normalt ikke leveres med nanofiltreringsmembraner, men derimot med ultrafiltreringsmembraner.

Det er tre forutsetninger som må være oppfylt før en kan benytte vannkvalitetsmålinger for kontroll av den hygieniske barrieren:

- Den første forutsetningen er muligheter for prøvetaking av rentvann fra hvert membranrør. For store anlegg kan en eventuelt begrense dette til å ha prøvetakingskran pr. modul/gruppe av rør, men dersom en påviser svikt i en modul må en enten bytte alle membranene i modulen eller utføre et tidkrevende arbeid med blinding av ett rør av gangen og gjentatte prøvetakinger for å identifisere røret med svikt.
- Den andre forutsetningen er en egnet parameter, dvs. en vannkvalitetsparameter som reduseres i så stor grad at en kortslutningsstrøm i membranen eller i en pakning kan måles. Aktuelle parametre i Norge er i hovedsak farge, UV-absorbans, ledningsevne og mikrobiologiske parametre, men det er grunn til å stille spørsmål ved følsomheten til de tre førstnevnte. Bruk av partikkelteller for kontroll er en metode som utprøves, men metodens egnethet må verifiseres før en kan konkludere med hensyn på om denne parameteren er egnet for kontroll av den hygieniske barrieren i et råvann med lav turbiditet og et relativt lavt partikkelinnhold, og med mulighet for mikrobiologisk vekst og påfølgende avskalling på membranenes rentvannsside.
- Den tredje forutsetningen er et egnet prøvetakings- og analyseprogram. En kan benytte online måling for noen av de aktuelle vannkvalitetsparametrene, men for små vannverk med et fåtall membranrør kan jevnlig prøvetaking fra hvert rør, for eksempel månedlig eller kvartalsvis, være et alternativ. Omfanget av prøvetakings- og analyseprogrammet må ses i sammenheng med både den mikrobiologiske råvannskvaliteten og hvorvidt vannbehandlingsanlegget har desinfeksjon etter membranfiltreringen.

6.4. Forebygge svikt i den hygieniske barrieren

En kontroll av barrierevirkningen som omtalt i kapittel 6.3 er viktig for å kunne foreta korrigerende tiltak så snart en feil har oppstått, men dette forebygger ikke selve feilen. Svikt i den hygieniske barrieren skyldes som nevnt lekkasje fra råvannssiden til rentvannssiden på grunn av defekte pakninger, membraner eller ventiler. En bedre forbehandling ville forebygget enkelte av de rapporterte hendelsene, men på langt nær alle. Hvorfor pakninger svikter i noen anlegg, men ikke i andre, er det ikke så langt ingen entydig forklaring på. Det kan skyldes trykkstøt ved silspyling eller av andre årsaker. Her bør leverandørene av membranlegg revurdere levetiden for slike pakninger, og eventuelt angi hvilke forhold som tilsier at pakningene bør skiftes.

Det anbefales at membranlegg bygges med prøvetakingskraner for hvert membranrør, og at det monteres avstengningsventiler som gjør det mulig å ta ett rør ut av drift uten å måtte stenge hele anlegget. Det sistnevnte gjør at en enkelt kan stenge av membranrør der en har mistanke om at det er defekte pakninger eller membraner. Det anbefales

videre at adaptene med mer utformes med henblikk på å redusere faren for lekkasje, noe som medfører at en bør ha doble pakninger i hver ende av adapterne.

6.5. Biofilmdannelse på rentvannssiden av membranene

Flere av vannbehandlingsanleggene med membranfiltrering har periodevis kimtall $>100/\text{ml}$ i rentvannet, og nær halvparten av anleggene har periodevis kimtall $>10/\text{ml}$. Fordi membranet, såfremt det ikke forekommer en svikt eller skade som gjør at råvannet lekker over til rentvannssiden, effektivt vil tilbakeholde mikroorganismer, må de høye kimtallene skyldes biologisk vekst på rentvannssiden. Slik biologisk vekst skjer trolig i form av biofilmdannelse. I et anlegg med svikt i den hygieniske barrieren påviste en også at enkelte koliforme bakterier kan vokse på rentvannssiden av membranene.

Betingelsene for å få biofilmdannelse er tilgang på lett nedbrytbart organisk materiale, næringssalter som nitrogen og fosfor, fravær av biocider som klor og en vokseflate. Vokseflate er det svært mye av i et membranlegg, fordi en av fordelene med membranfiltrering er at membranene har et stort areal som pakkes sammen i et relativt lite volum, noe som er illustrert i figur 20. For øvrig vil biologisk veksthastighet grovt sett dobles ved temperaturøkninger på $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ inntil en temperatur på ca. $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figur 20. Utpakking av en membranmodul. I en membran vil det være et stort areal eksponert mot både råvann og rentvann.

Tiltak mot biofilmdannelse på rentvannssiden av membranene må nødvendigvis rettes mot noen av de faktorene som påvirker slik begroing. Tilgang på vokseflate kan en selvsagt ikke endre, og råvannstemperaturen og tilgang på nitrogen og fosfor er heller ikke forhold som lar seg endre i praksis i slike anlegg. Vannets begroingspotensial endres ikke i vesentlig grad som følge av forfiltrering eller membranfiltrering for humusfjerning, og dersom en skal redusere dette potensialet må en benytte renseprosesser som omvendt osmose eller biologisk nedbrytning i biofilter, langsomsandfilter eller kunstig infiltrasjon.

Rutinemessig klorvask på rentvannssiden er trolig et tiltak som kan gjennomføres, men hvilke klordoser en kan tillate uten at membranene skades eller levetiden til membranene reduseres må tas opp med membranleverandøren i hvert enkelt tilfelle. Bruk av biocider som ikke er godkjente vannbehandlingsprodukter frarådes.

I enkelte membranlegg er det ikke produksjon om natten, og rentvannet er stagnert og varmes dessuten opp til romtemperatur. En driftsform som gir vannproduksjon hele døgnet vil trolig være et bidrag til å redusere biofilmveksten.

Når kimtall registreres i rentvannet, må en klarlegge om dette skyldes lekkasje gjennom membranlegget eller vekst på rentvannssiden. I enkelte tilfeller er kimtallet vesentlig høyere i rentvannet enn i råvannet, noe som tilsier vekst på rentvannssiden, men ofte vil en ha høye kimtall i både råvann og rentvann. I sistnevnte tilfeller er det viktig at en har en kontroll på om den hygieniske barrieren fungerer som forutsatt, og dersom svaret er ja er vekst på rentvannssiden trolig årsaken til kimtallet (se kapittel 7.4). Tilsvarende vurderinger gjelder dersom det påvises koliforme bakterier som finnes i miljøet og kan vokse ved normale vanntemperaturer.

7. Momentliste ved anskaffelse og drift av membranlegg

7.1. Innledning

Når en skal anskaffe og drifte et membranlegg er det selvsagt en rekke forhold en må ta hensyn til, hvorav mange vil være felles for ulike typer renseprosesser. Under er det laget noen momentlister over de forholdene som er spesielt viktige for membranlegg. Momentlistene skal ikke oppfattes som komplette, dels fordi en rekke av de forholdene som gjelder alle vannbehandlingsanlegg er utelatt og dels fordi enkelte vannverk kan ha unike forhold knyttet til sin råvannskilde etc. Listene gjelder derfor kun forhold som er spesielle for membranlegg, og som er å betrakte som relevante for alle slike anlegg. Listene bygger i vesentlig grad på tilbakemeldinger fra vannverk, og er i så måte primært en liste over erfaringer ved bygging eller drift ved eksisterende membranlegg. Listene er **ikke** i prioritert rekkefølge, noe som delvis skyldes at prioriteringen vil variere mellom ulike anlegg.

7.2. Momentliste ved anskaffelse av membranlegg

1. Råvannskvaliteten må kartlegges for å bestemme dimensjonerende farge, turbiditet, dominerende partikkeltyper/-størrelser etc. (Partikkelstørrelsene som er viktige for fouling måles i liten grad med vanlige partikkeltellere, og sekvensiell filtrering med filtre med porestørrelse 2 μm , 0,45 μm og 0,1 μm bør vurderes.) Kartleggingen må fange opp variasjoner i vannkvaliteten, både årstidsvariasjoner og variasjoner pga. normalt forekommende hendelser som flom etter intens nedbør etc.
2. Kartleggingen bør ende opp i en dokumentasjon som utgjør en del av grunnlaget for dimensjonering og design.
3. Ha et godt dimensjoneringsgrunnlag for forfilter/forbehandling
4. Ha et godt grunnlag for å vurdere fouling-potensialet
5. Vurder om et 50 μm forfilter er tilstrekkelig forbehandling
6. Pilotforsøk har vanligvis ikke vært noen del av kartlegging før anskaffelse, delvis fordi det ofte er snakk om små vannbehandlingsanlegg. Pilotforsøk bør vurderes, og disse må da spesielt inkludere forbehandlingsmetoder.
7. Kildekapasiteten må tåle en konsentrattstrøm på minst 20 %, dvs. maksimalt 80 % råvannsutnyttelse
8. Det må være stengeventiler, helst for hvert membranrør
9. Det må være prøvetakingskraner på hvert membranrør
10. En bør ha produksjon i størstedelen av døgnet utenom perioder med membranvask (én times stopp pr. døgn for døgnvask må en forvente.)
11. Dimensjoneringen må likevel være slik at anlegget deler av et normaldøgn går med lav produksjon eller stopper, dette oppnås med f.eks. behovsstyrt driftstrykk
12. Er de tilbudte membranene av en type en har gode erfaringer med fra humus-fjerning (cellulose, celluloseacetat, polyamid, PVDF)?
13. Er dimensjonerende fluks akseptabel ($< \text{ca. } 20 \text{ l/m}^2 \cdot \text{t}$)? En fluks på $25 \text{ l/m}^2 \cdot \text{t}$ er mulig under gunstige forhold, men ofte vil fouling gjøre at fluksen synker under $20 \text{ l/m}^2 \cdot \text{t}$ i løpet av kort tid.
14. Styringssystem/PLS bør beregne og logge relevante driftsparametre, og generere alarmer når grenseverdier overskrides.
15. Inkluderer leveransen nødvendig opplæring av driftspersonell?
16. Er det avklart hvilken oppfølging en ønsker fra leverandøren? Dette må innarbeides i anbudsdokumenter og kontrakt.
17. Leveransen må omfatte en dokumentasjon som inkluderer informasjon om membranene, som kapasitet, molekylvekts-cut-off, akseptabel trykkbelastning, nødvendig tverrstrøm, type og egenskaper til spacer-nettet, med mer. Det er viktig at dette ses i sammenheng med dimensjoneringsforutsetningene for

anlegget. Leverandørens begrensninger med hensyn til partikler som kan skape fouling bør inkluderes i dokumentasjonen.

7.3. Momentliste ved drift av membranlegg

1. Ha en god journalføring, som minst må inkludere:
 - a. Vannproduksjon, m^3/time
 - b. Driftstrykk inn på trykkrørene, bar
 - c. Driftstrykk ut fra trykkrørene, bar
 - d. Sirkulasjonsmengde, m^3/time
 - e. Konsentratmengde, m^3/time
 - f. Tverrstrøm = sirkulasjonsmengde + konsentratmengde
 - g. Vanntemperatur. $^{\circ}\text{C}$
 - h. Hendelser av ulike slag
2. Registrer utviklingen i permeabilitet og spesifikt tverrstrømstrykk
3. Ha en tilstrekkelig tverrstrøm (5-11 m^3/time for 8" spiralmembraner)
4. Ha en indikator på membranfiltrering som hygienisk barriere, og følg denne opp
 - a. Velg en indikator som reduseres effektivt når barrieren er virksom, og som ikke påvirkes av vekst på rentvannssiden, for eksempel farge, ledningsevne
 - b. Indikatoren bør måles pr. membranrør jevnlig, for eksempel ukentlig ved manuell måling eller daglig ved en semi-kontinuerlig måling
5. Ha kontroll på at ventiler mellom råvann og rentvann er stengt
6. Ha vannproduksjon størstedelen av døgnet, med unntak av perioder med membranvask, dvs. at en må unngå at anlegget står lenge i ro om natten
7. Dersom anlegget stanses mer enn et døgn må membranene konserveres
8. Vurder om det er behov for jevnlig desinfeksjon på rentvannssiden av membranene, og hvis ja, kontakt leverandøren vedrørende egnet desinfeksjon

7.4. Momentliste ved driftsproblemer ved membranlegg

1. Dersom en har redusert kapasitet pga. fouling, noe en vil se av utviklingen i permeabilitet og spesifikt tverrstrømstrykk, bør en vurdere:
 - a. Fungerer forfilteret tilfredsstillende?
 - b. Har forfilteret tilstrekkelig kapasitet?
 - c. Er et 50 μm forfilter tilstrekkelig forbehandling?
 - d. Er tverrstrømmen lav ($<5 \text{ m}^3/\text{time}$)?
 - e. Er fluksen for høy? (lavere fluks gir mindre beleggdannelse)
 - f. Er det mulig å redusere flux, enten ved å installere flere membranrør eller ved endret drift/lavere maksimalproduksjon?
 - g. Er mengde og størrelse på partikler etter forfilteret kartlagt?
 - h. Kan en redusere partikkelmengden ved for eksempel å flytte inntaket?
 - i. Utgjør biofouling en del av problemet? Hvis ja, kontakt leverandøren vedrørende alternative vaske/skyllemidler.
2. Dersom en har høye kimtall i rentvannet, kontroller om dette skyldes lekkasje eller vekst på rentvannssiden
 - a. Er kimtallet høyere i rentvann enn i råvann er det trolig vekst på rentvannssiden som er hovedproblemet
 - b. Dersom indikatoren på hygienisk barriere tilsier at barrieren er virksom er det trolig vekst på rentvannssiden
 - c. Skyldes kimtallet trolig brudd i membran eller defekte pakninger skiftes disse. I tillegg må anlegget gjennomgås, helst sammen med leverandøren, for å klarlegge årsaken til brudd i membran eller defekte pakninger.
 - d. Skyldes kimtallet trolig vekst på rentvannssiden kontaktes leverandøren for å finne en egnet desinfeksjon av rentvannssiden, samt at det vurderes om det er aktuelle tiltak i forbehandlingen som kan redusere begroingspotensialet

3. Dersom en har brudd i den hygieniske barrieren, må omfanget klarlegges:
- a. Er det noen ventiler som ved feil kan slippe råvann ubehandlet til renvannssiden kontrolleres disse ventilene
 - b. Overvåkning av indikatorparametre vil vise hvilke membranrør det er lekkasje i
 - c. En testing av hver enkelt membran vil vise hvilke membraner som eventuelt er skadet, alternativt kan en basere seg på visuell inspeksjon
 - d. Pakningene skiftes når membranene tas ut for kontroll/inspeksjon
 - e. Avhengig av membranenes driftstid vurderes skifte av alle membraner i rør der den hygieniske barrieren er brutt
 - f. Uavhengig av hvor feilen har vært, må den bakenforliggende årsaken til at feil oppstår avklares. Dette kan være et både vanskelig og tidkrevende arbeid, og vannverkene bør vurdere å trekke leverandøren og eventuelt andre inn i dette arbeidet.

8. 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 stagnert 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 overvåkning av den hygieniske barrieren har ikke slik svikt blitt avdekket før en har påvist koliforme bakterier i rentvannet.

Det anbefales følgende tiltak for bedre overvåkning og eventuelt optimalisering av membranfiltreringsanleggene.

- Måling av indikatorparametre pr. membranrør for å ha kontroll på den hygieniske barrieren, noe som forutsetter at en finner frem til egnede indikatorparametre. 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. Ventilene bør være av et materiale som tåler desinfeksjon med klor.

9. Anbefalinger om videre arbeider

Denne rapporten beskriver driftserfaringer kombinert med generell kunnskap om membranprosesser, og i noen grad med supplerende målinger og informasjonsinnhenting. Prosjektet har ikke inkludert utvikling av nye prosesser, kjemikalier eller lignende, men gjennom prosjektet er det avdekket forhold knyttet til de norske membrananleggene som tilsier at det er behov for noe utviklingsarbeid. Dette kan være ved å ta i bruk eksisterende metodikk og kunnskap ved valg av renseprosesser, utvikle nye rutiner, etablere metodikk for valg av kjemikalier, og eventuelt utvikle nye kjemikalier og utstyr. Spesielt bør fremheves:

- Metodikk for valg av riktig forbehandling, herunder vannkvalitetsanalyser som støtte i dette arbeidet
- Rutiner for, og egnede kjemikalier for, desinfeksjon av rentvannssiden av anleggene
- Metodikk for optimalisering av vaskerutinene, herunder valg av kjemikalier
- Prosedyrer for dokumentasjon av hygienisk barrierevirkning som kan inngå som en del av tilsynsmyndighetens godkjenning

Dette utviklingsarbeidet **kan** utføres av leverandørene av membranleggene. Det vil imidlertid være en fordel om kunnskapene om disse forholdene i større grad blir tilgjengelige for anleggseiere og rådgivere, og dette tilsier at utviklingsarbeidet utføres og finansieres på en slik måte at resultatene blir allment tilgjengelige.

10. Referanser

- Adham, S. S., Trussel, R. R., Gagliardo, P. F. and Olivieri, A. W. (1997): Membranes; a barrier to micro-organisms. Proceedings, IWSA world congress.
- Brown, P. (2008): Personlig meddelelse. Scottish Water.
- Crozes, G., Sethi, S., Hugaboom, D., Mi, B., Curl, J., and Marinas, B. (2004): Assessment and development of low-pressure membrane integrity monitoring tools. Project #2681. AWWA Research foundation.
- Drinking water inspectorate (DWI) (2008): Approval of membrane and other filtration systems for *Cryptosporidium* removal. <http://www.dwi.gov.uk/regs/crypto/approval.shtm>
- Frimmel, F. H. and Hesse, S. (1996): Size-resolved DOC and UV-absorbance as tools for characterisation of NOM. Workshop on Natural organic matter (AIDE/IWSA), Poitiers, sept.
- Gjerdrum, H. O. (2003): Personlig meddelelse. Gjerdrum kommune.
- 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 Storhaug, R. (2005): Membranfiltrering som hygienisk barriere. Erfaringer og feil. Proceedings fra Vannforsyningsdagene 2005, Bergen, 7-9. juni.
- Jacangelo, J. G., Laine, J.-M., Carns, K. E., Cummings, E. W. and Mallevialle, J. (1991): Low pressure membrane filtration for removing Giardia and microbial indicators. J. AWWA, 83:97-106.
- Jacangelo, J. G., Adham, S. S. and Laine, J.-M. (1995): Mechanism of Cryptosporidium, Giardia and MS2 virus removal by MF and UF. J. AWWA, 87:38-49.
- Krivobok, S. M., Volgin, V. D., Sinyak, Y. E., Kanarskii, A. V. and Smirnov, D. V. (1986): Disinfecting water by means of microfiltration membranes. Soviet Journal of Water Chemistry and Technology, 8:4:112-115.
- Kriuthof, J. C., Hiemstra, P., Kamp, P. C., van der Hoek, J. P., Taylor, J. S. and Schippers, J. C. (1997): Integrated multiobjective membrane systems for control over microbials and DBP-precursors in surface water treatment. Proceedings, IWSA world congress.
- 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.
- Pillipenko, P., Håkonsen, T., Gjerdrum, H.-O. og Emelco, M. (2008): Hygienisk overvåkning av membranlegg. Proceedings, Nordisk drikkevannskonferanse, Oslo 9.-11. juni.

Randon, G. (1997): Removal of micro-organisms by clarification and filtration processes – national report France. Proceedings, IWSA world congress.

Storhaug, R. (2003): Hygieniske barrierer i vannrenseprosesser. Aquateam-rapport 03-019.

Thorsen, T. (1999): Fundamental studies on membrane filtration of coloured surface water. Doctor technicae-thesis. NTNU.

Thorsen, T. og Hem, L. (2003): Membranfiltrering og begroingspotensiale i ledningsnettet. VANN 38:4:391-400.

Vedlegg 1: Spørreskjema fra breddeundersøkelsen

1. KONTAKTINFORMASJON

1.1 Fyll ut/korriger kontaktinformasjonen:

Vannverksnummer:	
Vannverksnavn:	
Kontaktperson for utfylling av spørreskjema:	
Telefonnummer:	Faksnummer:
e-post:	

2. RÅVANNSKILDE

2.1 Kryss av for hvilken type råvannskilde vannbehandlingsanlegget har:

Grunnvann	☐	Sjøvann (avsalting)	☐
Bekk/elv	☐	Innsjø	☐

3. HYGIENISKE BARRIERER

3.1 Kryss av for de hygieniske barrierene vannverket er godkjent med:

Råvannskilden	☐	UV-bestråling	☐
Membranfiltrering	☐	Klorering	☐

	Hvis dere har klorering, er denne kontinuerlig?	Ja	☐	Nei	☐
--	--	----	--------------------------	-----	--------------------------

4. TEKNISK PROSESS

4.1 Hvis kjent, oppgi følgende om membranriggen (se også neste side):

Type membran (produktbetegnelse etc.):
Poreåpning (nm):
Antall membraner i hvert trykkrør:
Ca. lengde hvert trykkrør (meter):
Antall trykkrør i parallell:
Kapasitet som vannbehandlingsanlegget er dimensjonert for med dagens antall trykkrør (m ³ /time):
Gjennomsnittlig vannvolum produksjon (m ³ /time):
Gjennomsnittlig vannvolum sirkulasjon (m ³ /time):
Gjennomsnittlig vannvolum konsentrat/avløp

(m³/time):

Finnes det mulighet for prøvetaking etter hvert trykkrør?

4.2 Hvem er leverandør av membranriggen?

--

4.3 Når ble membranriggen installert (år)?

--

4.4 Gi en kort beskrivelse av forbehandlingen på vannbehandlingsanlegget (ved trykksiler, angi lysåpningen):

--

4.5 Gi en kort beskrivelse av alle vaskerutinene for membranriggen (type kjemikalie (legg ved kopi av datablad), hyppighet etc.). Hva utløser vaskene?

--

4.6 Kryss av for behandlingen(e) av det membranfiltrerte vannet:

UV-bestråling	☐	Vannglass	☐
---------------	--------------------------	-----------	--------------------------

Klorering	☐	Alkalisk filter (marmor)	☐
-----------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

4.7 Hvor mange timer i døgnet produserer vannbehandlingsanlegget normalt vann? Står anlegget i ro om natten?

--

4.8 Er det perioder der ubehandlet vann går forbi (i omløp om) membranriggen for å opprettholde tilstrekkelig produksjon?

--

5. PRØVETAKING

5.1 Tas det prøver av vannet som kommer ut fra membranriggen før eventuell desinfisering og/eller pH-justering?

--

5.2 Hvor ofte blir det tatt prøver fra råvann og rentvann?

	Antall prøver pr. år	
Parameter	Råvann	Rentvann
Turbiditet		
Fargetall		
Totalt bakterietall (kimtall) v/ 22 °C		
Koliforme bakterier		
<i>E.coli</i> (termotol. koliforme bakterier)		
Intestinale enterokokker		
<i>Clostridium perfringens</i>		

5.3 Har det i løpet av de fem siste årene blitt påvist for høye verdier av noen av indikatorparametrene for forurensning i prøvene fra råvann eller rentvann?

	Antall prøver over grenseverdi	
Parameter	Råvann	Rentvann
Turbiditet		
Fargetall		
Totalt bakterietall (kimtall) v/ 22 °C		
Koliforme bakterier		
<i>E.coli</i> (termotol. koliforme bakterier)		
Intestinale enterokokker		
<i>Clostridium perfringens</i>		

5.4 Ved resultater over grenseverdiene, er dette knyttet til bestemte årstider eller vær-situasjoner?

--

5.5 Ved resultater over grenseverdiene, gi en kort beskrivelse av de tiltak som har blitt iverksatt og om tiltakene har vært effektive:

5.6 Ved eventuelt bakterieinnhold over grenseverdiene, gikk dere ut med anbefaling om koking av vann til abonnentene? Hvorfor/hvorfor ikke?

6. DRIFTSERFARINGER MED MEMBRANRIGGEN

6.1 Hvor fornøyd er dere med membranriggen? Gi en kort begrunnelse:

6.2 Har dere endret driften eller bygget om vannbehandlingsanlegget siden oppstart av membranriggen (gi en kort beskrivelse av endringen(e))? Hva var eventuelt grunnen til endringen(e)? Førte endringen(e) til at vannbehandlingsanlegget fungerer bedre?

6.3 Kapasitet:

Hva er den gjennomsnittlige alderen på membranene?

Hva er den gjennomsnittlige vannproduksjonen?

Synker kapasiteten av membranriggen når membranene blir eldre?

Hvis kapasiteten synker, kan den økes igjen ved å øke trykket?

6.4 Har dere byttet ut noen membraner siden oppstart av membranriggen, i tilfelle hvorfor og når?**6.5 Er det kjent om det har bygget seg opp et belegg på membranene? I så fall, hvordan er det oppdaget og har noe spesielt vært gjort for å motvirke det?****6.6 Har dere hatt problemer med tilbakespyling/rengjøring av forfiltrene, i tilfelle hvor ofte og når på året? Har dere også annen rengjøring av forfiltrene?****6.7 Er det kjent om det er belegg på forfiltrene (sammenlign eventuelt med bilder i vedlagt fil)?**

**6.8 Hvor ofte opplever dere full driftsstans av membranriggen (utenom hovedservice).
Hva er typiske årsaker til dette?**

7. KOMPETANSE

7.1 Har en eller flere av operatørene fagutdannelse og/eller deltatt på driftsoperatørkurs?

7.2 Er det ønske om egne kurs for drift av membranfilteranlegg? I så fall, er det spesielle tema kurset bør omhandle?

Utgitte Norsk Vann Rapporter

(Tidligere kalt NORVAR-rapporter)

20. Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Sluttrapport
- 20a. Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Aerob og anaerob behandling
- 20b. Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Kalking. Kompostering
- 20c. Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Slamavvanning
- 20d. Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Termisk behandling av kloakkslam
21. NORVAR's årsberetning 1991
22. EDB i VAR-teknikken. Fase 1 - kravspesifikasjoner m.m. Status-beskrivelse og forslag til videre arbeid
- 23a. Internkontroll for VA-anlegg. Mal for internkontroll-håndbok for VA-anlegg.
- 23b. Internkontroll for VA-anlegg. Internkontrollhåndbok for avløpsanlegg. Eksempel fra Fredrikstad og omegn avløpsanlegg
- 23c. Internkontroll for VA-anlegg. Internkontrollhåndbok for vannverk. Eksempel fra Vansjø vannverk
- 23d. Aktivitetsstyrende håndbok for VA-anlegg. Informasjon, avvik og tiltak, verne- og sikkerhetsarbeid, opplæring
- 23e. Aktivitetsstyrende håndbok for VA-anlegg. HMS ved vannbehandlingsanlegg
- 23f. Aktivitetsstyrende håndbok for VA-anlegg. HMS ved avløpsrenseanlegg
- 23g. Interkontroll for VA-anlegg. Eksempel på driftsinstruks Oltedalen kloakkrenseanlegg
- 23h. Internkontroll for VA-anlegg. Eksempel på driftsinstruks Smøla vannverk
- 23i. Internkontroll for VA-anlegg. Internkontroll for VA-transportsystemet. Eksempel fra Nedre Eiker kommune
24. NRV-prosjekt. Korrosjonskontroll ved vannbehandling med mikronisert marmor
25. Mal for prosessoppfølging av anlegg for stabilisering og hygienisering av slam
26. Installering av gassmotor for strømproduksjon ved rensanlegg
27. Mottak og behandling av avvannet råslam ved rensanlegg som hygieniserer og stabiliserer slam i væskeform
28. Slam på grøntarealer. Erfaringer fra et demonstrasjonsprosjekt
29. Regnvannsoverløp
30. Utvikling og uttesting av datasystem for informasjonsflyt i VA-sektoren
31. PRO-VA, Brukerklubb for prosess-styresystemer, drift- og fjernkontroll for VA-anlegg. Oversikt pr.1993. Leverandører, produkter, konsulenter
32. Bruk av statiske metoder (kjemometri) for å finne sammenhenger i analyseresultater for avløpsvann
33. Evaluering av enkle rensemetoder. Slamavskillere
34. Evaluering av enkle rensemetoder. Siler/finnister
35. Kravspesifikasjon og kontrollprogram for VA-kjemikalier
36. Filter som hygienisk barriere
37. EU/EØS, konsekvenser for Norges vannforsyning
38. NORVAR-prosjekter 1992/93
39. Implementering av EDB-basert vedlikeholdssystem. Erfaringer fra referanseprosjekt knyttet til pilot-prosjekt ved Bekkelaget rensanlegg
40. Driftsassistanter for avløp. Utredning om rolle og funksjon fremover
41. Metri-tel. Kommunikasjonsmedium for VA-installasjoner. Erfaringer fra prøveprosjekt i Sandefjord kommune
42. Industriavløp til kommunalt nett. Evaluering av utførte industrikartleggingsprosjekt.
43. Korrosjonskontroll ved Hamar vannverk
44. Slam på grøntarealer. Erfaringer fra et demonstrasjonsprosjekt. Vekstsesongen 1994
45. Forsøk med forfelling og felling i 2 trinn med polyaluminiumklorid høsten 1993 Kartlegging av slam- slamvannsstrømmer med og uten forfelling 1993-94
46. Renovering av avløpsledninger. Retningslinjer for dokumentasjon og kvalitetskontroll
47. Strategidokument for industrikontroll
48. NORVAR og miljøteknologi. Forprosjekt
49. Grunnundersøkelser for infiltrasjon - små avløpsanlegg. Forundersøkelse, områdebefaring og detaljundersøkelse ved planlegging og separate avløpsanlegg
50. Rørinspeksjon i avløpsledninger. Rapporteringshåndbok (Erstattet av 145/05)
51. Slambehandling
52. Bruk av slam i jordbruket
53. Bruk av slam på grøntarealer
54. Rørinspeksjon av avløpsledninger. Veileder (Erstattet av 145/05)
55. Vannbehandling og innvendig korrosjonskontroll i vannledninger
56. Vannforsyning til næringsmiddelindustrien. Krav til kvalitet. Vannverkenes erstatningsansvar ved svikt i vannleveransen
57. Trykkreduksjon. Håndbok og veileder
58. Karbonatisering på alkaliske filter
59. Veileder ved utarbeidelse av prosessgarantier
60. Avløp fra bilvaskeanlegg til kommunalt rensanlegg
61. Veileder i planlegging av fornyelse av vannledningsnett
62. Veileder i planlegging av spyling og pluggkjøring av vannledningsnett
63. Mal for godkjenning av vannverk
64. Driftserfaringer fra anlegg for stabilisering og hygienisering av slam i Norge
65. Forslag til veileder for fettavskillere til kommunalt avløpsnett
66. EØS-regelverket brukt på anskaffelser i VA-sektoren
67. Filter som hygienisk barriere - fase 3
68. Korrosjonskontroll ved Stange vannverk
69. Evaluering av enkle rensemetoder, fase 2. Siler/finnister
70. Evaluering av enkle rensemetoder, fase 2. Store slamavskillere samt underlag for veileder
71. Evaluering av enkle rensemetoder, fase 3. Veileder for valg av rensemetode ved utslipp til gode sjøresipienter
72. Utviklingstrekk og utfordringer innen VA-teknikken. Sammenstilling av resultatet fra arbeidet i NORVARs gruppe for langtidsplanlegging i VA-sektoren
73. Etablering av NORVARs VA-infotorg. Bruk av internett som kommunikasjonsverktøy
74. Informasjon fra NORVARs faggruppe for EDB og IT. Spesialrapport - 5. Utgave. Beskrivelse av 34 EDB-programmer/Moduler for bruk i VA-teknikken (Erstattet av 133/03)
75. NORVARs faggruppe for EDB og IT. IT-strategi i VA-sektoren. (Erstattet av 133/03)
76. Dataflyt-klassifisering av avløpsledninger. (Erstattet av 150/07)
77. Alternative områder for bruk av slam utenom jordbruket. Forprosjekt
78. Alternative behandlingsmetoder for fettslam fra fettavskillere
79. Informasjonssystem for drikkevann, forprosjekt
80. Sjekkliste/veiledninger for prosjektering og utførelse av VA-hoved og stikkledninger - sanitærinstallasjoner
81. Veileder. Kontrahering av VA-tekniske prosessanlegg i totalentreprise
82. Veileder for prøvetaking av avløpsvann
83. Rørinspeksjon med videokamera. Veiledning/rapportering (Erstattet av 145/05)
84. Forfall og fornyelse av ledningsnett
85. Effektiv partikkelseparasjon innen avløpsteknikken
86. Behandling og disponering av vannverksslam. Forprosjekt
87. Kalsiumkarbonatfilter for korrosjonskontroll. Utpøving av forskjellige marmormasser
88. Vannglass som korrosjonsinhibitor. Resultater fra pilotforsøk i Orkdal kommune
89. VA-ledningsanlegg etter revidert plan- og bygningslov
90. Actiflo-prosjektet ved Flesland ra

91. Vurdering av slamfabrikk" for Østfold
 92. Informasjon om VA-sektoren - forprosjekt
 93. Videreutvikling av NORVAR. Resultatet av strategisk prosess 1997/98
 94. Nettverksamarbeid mellom NORVAR, driftsassistanter og kommuner
 95. Veileder for valg av riktige sensorer og måleutstyr i VA-teknikken
 96. Rist- og silgods - karakterisering, behandlings- og disponeringsløsninger
 97. Slamforbrønning (VA-forsk 1999-11). (Samarbeidsprosjekt med VAV)
 98. Kvalitetssystemer for VA-ledninger. Mal for prosessen for å komme fram til kvalitetssystem som tilfredsstiller kravene i revidert plan- og bygningslov
 99. Veiledning i dokumentasjon av utslipp
 100. Kvalitet, service og pris på kommunale vann- og avløpstjenester
 101. Status og strategi for VA-opplæringen
 102. Oppsummering av resultater og erfaringer fra forsøk og drift av nitrogenfjerning ved norske avløpsrensplanlegg
 103. Returstrømmer i renseanlegg. Karakterisering og håndtering
 104. Nordisk konferanse om nitrogenfjerning og biologisk fosforfjerning 1999
 105. Sjekkliste plan- og byggeprosess for silanlegg
 106. Effektiv bruk av driftsinformasjon på renseanlegg/mal for rapportering
 107. Utslipp fra mindre avløpsanlegg. Teknisk veiledning. Foreløpig utgave
 108. Data for dokumentasjon av VA-sektorens infrastruktur og resultater
 109. Resultatindikatorer som styringsverktøy for VA-ledelsen
 110. Veileder i konkurranseutsetting. Avtaler for drift og vedlikehold av VA-anlegg
 111. Eksempel på driftsinstruks for silanlegg. Cap Clara i Molde kommune
 112. Erfaringer med nye renseløsninger for mindre utslipp
 113. Nødvendig kompetanse for drift av avløpsrensplanlegg. Læreplan for driftsoperatør avløp
 114. Nødvendig kompetanse for drift av vannbehandlingsanlegg. Læreplan for driftsoperatør vann
 115. Pumping av avløpsslam. Pumpetyper, erfaringer og tikk
 116. Scenarier for VA-sektoren år 2010
 117. VA-juss. Etablering og drift av vann- og avløpsverk sett fra juridisk synsvinkel (*Erstattet av 134*)
 118. Veiledning for kontrahering av rådgivnings- og prosjekteringstjenester innen VAR-teknikk (*Erstattet av 138/04*)
 119. Omstruktureringer i VA-sektoren i Norge En kartlegging og sammenstilling
 120. Strategi for norske vann- og avløpsverk. Rapport fra strategiprosess 2000/2001
 121. Kjøkkenavfallskverner for håndtering av matavfall. Erfaringer og vurderinger
 122. Prosessen ved utarbeidelse av miljømål for vannforekomster. Erfaringer og råd fra noen kommuner
 123. Utslipp fra mindre avløpsanlegg. Veiledning for utarbeidelse av lokale forskrifter
 124. Nødvendig kompetanse for legging av VA-ledninger. Læreplan for ADK 1
 125. Mal for forenklet VA-norm
 126. Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie
 127. Vassdragsforbund for Mjøsa og tilløpselvene - en samarbeidsmodell
 128. Bruk av resultatindikatorer og benchmarking i effektivitetsmåling av kommunale VA-virksomheter. Erfaringer og anbefalinger fra et prøveprosjekt
 129. Rørinspeksjon med videokamera. Veiledning/rapportering hovedledninger
 130. Gjenanskaffelseskostnadene for norske VA-anlegg
 131. Effektivisering av avløpssektoren
 132. Forslag til nytt system for prosjektvirksomheten i NORVAR
 133. IT-strategi for VA-sektoren. Veiledning
 134. VA-JUS. Etablering og drift av vann- og avløpsverk sett fra juridisk synsvinkel (*Oppdateres årlig på www.norskvann.no*)
 135. Vannledningsrør i Norge. Historisk utvikling. 26 dimensjonstabeller
 136. Hygienisk barrierer og kritiske punkter i vannforsyningen: Hva har gått galt?
 137. Veiledning i bygging og drift av drikkevannsbasseng
 138. Veiledning for kontrahering av rådgivnings- og prosjekteringstjenester innen VAR-teknikk. Revidert utgave
 139. Erfaringar med klorering og UV-stråling av drikkevann
 140. NORVARs videre arbeid med slam. Strategisk plan for prosjektvirksomhet, informasjon og kommunikasjon. Forprosjekt
 141. Trenger Norge en VA-lov? Drøfting av behovet for en egen sektorlov for vann og avløp
 142. NORVARs benchmarkingsprosjekt 2004 Presentasjon av målesystem og resultater for 2003 ed analyse av datamaterialet
 143. Kartlegging av mulig helserisiko for abonnenter berørt av trykkløs vannledning ved arbeid på ledningsnettet
 144. Veiledning i overvannshåndtering
 145. Inspeksjonsmanual for avløpssystemer. Del 1 – Ledninger
 146. Bærekraftig vedlikehold. Betrakninger av utvalgte problemstillinger knyttet til langsiktig forvaltning av vannledningsnett
 147. Optimal desinfeksjonspraksis for drikkevann
 148. Veiledning i utarbeidelse av prøvetakingsprogrammer for drikkevann
 149. Tilførsel av industrielt avløpsvann til kommunalt nett. Veiledning
 150. Dataflyt – Klassifisering av avløpsledninger
 151. Veiledning for vedlikeholdssystemer (FDV)
 152. Veiledning for anskaffelse av driftskontrollsystemer i VA-sektoren
 153. Norm for symboler i driftskontrollsystemer for VA-sektoren
 154. Norm for tagkoding i VA-anlegg
 155. Norm for merking og FDV-dokumentasjon i VA-sektoren
 156. Veiledning for oljeutskilleranlegg
 157. Organiske miljøgifter i norsk avløpsslam. Resultater fra undersøkelsen i 2006/07
 158. Termoplastrør i Norge – før og nå
 159. Håndbok i kildeprosporing i avløpssystemet
 160. Driftserfaringer med membranfiltrering
- Rapportserie B:
- B1: Effektive VA-organisasjoner og tilfredse brukere. Forprosjekt
 - B2: PressurePuls for deteksjon av lekkasje på vannledninger.
 - B3: Kvalitetsheving av nye VA-ledningsanlegg. Kartlegging og tiltaksforslag
 - B4: Vannkvalitet i ledningsnett – Problemoversikt og statur. Forprosjekt.
 - B5: Utslipp fra bilvaskehaller
 - B6: Kommunikasjonsstrategi for NORVAR og norske vann og avløpsverk
 - B7: Sandnesmodellen. Eksempel på system for kommunikasjon og virksomhetsstyring
 - B8: Forprosjekt energinettverk i VA-sektoren
 - B9: Utvikling av et system for spørreundersøkelser blant VA-kundene
- Rapportserie C:
- C1: Sårbarhet i vannforsyningen
 - C2: Stoff for stoff – kilde for kilde. Kvikksølv i avløpsnettet
 - C3: Samarbeid om økt bruk av avløpsslam på grøntarealer
 - C4: Effekter av bruk av matavfallskverner på ledningsnett, rensplanlegg og avfallsbehandling
 - C5: Økt sikkerhet og beredskap i vannforsyningen - veiledning
- De mest aktuelle rapportene ligger som PDF-filer på www.norskvann.no**



- Norsk Vann er en ikke-kommersiell interesseorganisasjon for vann- og avløpssektoren (VA-sektoren). Organisasjonen skal bidra til å oppfylle visjonen om rent vann ved å sikre VA-sektoren funksjonelle rammevilkår og legge til rette for kunnskapsutvikling og kunnskapsdeling.
- Norsk Vann eies av norske kommuner, kommunalt eide VA-selskaper, kommunenes driftsassistanser for VA og noen private andelsvannverk. Norsk Vann representerer ca 340 kommuner med over 90 % av landets innbyggere. Virksomheten finansieres i hovedsak gjennom kontingenter fra medlemmene.
- Norsk Vann styres av eierne gjennom årsmøtet og av et styre sammensatt av representanter fra eierne.

- I Norsk Vanns prosjektsystem gjennomføres hvert år FoU-prosjekter for ca. 6 mill. kroner
- Det er praktiske og aktuelle spørsmål innenfor vann- og avløp som utredes
- Deltakerne foreslår prosjekter, styrer gjennomføringen og får full tilgang til alle resultater

