

Prinsipper, anvendelser og utviklingstrender i membran-teknologi

Av Thor Thorsen

Thorsen er forsker ved SINTEF Avd. Vann og miljø, Trondheim

Innlegg på fagtreff i Norsk Vannforening 7. mai 2007

Sammendrag

Membranfiltrering har etter hvert fått god innpass i norsk drikkevanns-behandling. Metoden som brukes er tverrstrømsfiltrering, som er en av mange typer prosesser som kommer under begrepet membranteknologi. Tverrstrømsfiltrering kan utføres på mange måter, men en variant har fått best innpass så langt og det er bruk av spiralmembraner av celluloseacetat beregnet for nano- eller ultrafiltrering. Disse har vist seg å ha god motstandskraft mot beleggdannelse. Membranteknologien har imidlertid en bred generell bruksmulighet innen framstilling av rent vann. Med stadig økende press på verdens ressurser av rent vann, kan en forvente en stadig økende bruk av membraner til produksjon av rent vann. I Norge har vi etter flere års bruk av teknologien gjort mange erfaringer med hensyn til drift av anleggene. Det er nå viktig at en griper fatt i disse erfaringene og arbeider med utfordringene. Dette kan også styrke norske leverandører av anlegg i det internasjonale markedet. Erfaringene tilsier at brukere og leve-

randører bør bedre sin oppfølging av anleggenes tilstand. Det er også stadig et behov for å forstå bedre hvordan råvannskvaliteten påvirker optimalt anleggsutforming og drift. Et bedre forfilter er også et klart behov.

Summary

Membrane filtration has gained a solid basis in the Norwegian water industry. Although the term membrane technology includes a broad range of methods, it is mainly cross-flow filtration with NF and UF spiral membranes that is used to treat Norwegian surface water. The use of simple plants and cellulose acetate spiral membranes have been successful, much because this membrane has good fouling resistance and can be easily cleaned. Still, experiences show that there are challenges, mostly connected to measures to reduce membrane fouling. Better prefiltration is one important challenge, but there is also a need to better understand how the raw water quality influences on the optimum plant design and operation. Further there is a need to

improve the routines that are used by plant owners and plant producers, in order to better analyse the situation when problems occur.

Innledning

Membranteknologi har siden 1989 vunnet solid innpass i norsk drikkevannsbehandling siden det første prøveanlegget ble startet. Metoden brukes hovedsaklig for humusfjerning fra typiske overflatevann, der fargetallet er for høyt. De første 8 – 10 årene fikk metoden mye medvind og mange nye anlegg ble satt i gang. Anleggene ble populære fordi de ga god og stabil rentvannskvalitet og bemanningen var beskjeden. Teknologien er nå modnet og med det er driftsproblemer blitt mer synlige. De gode egenskapene er der fortsatt, men vi har erfart at det er noen utfordringer som bør angripes, og til det kreves ny viten og at leverandører og brukere lærer seg metodens virkemåte og hvilke tiltak som er nødvendige dersom problemer oppstår. De problemene som er mest vanlige er (se også seinere i artikkelen):

1. Kapasitetsnedgang over tid; som regel skyldes dette beleggdannelse på membranen som de rutinemessige vaskeprosessene ikke klarer å fjerne helt
2. Defekte membraner, med redusert hygienisk barriere og renseeffekt som resultat
3. Slamoppbygging i membranens spacer-nett med trykkfall langs membranen som resultat

Den varianten av membranteknologien som er tatt i bruk i Norge, avviker noe fra anlegg i andre land. Det startet med pilotforsøk på 80-tallet, som resulterte i et lite anlegg på ca. 10 m³/t i Trolla ved Trondheim. Denne utformingen ble adoptert av flere leverandører i Norge og etter hvert har også disse levert tilsvarende anlegg i andre land, blant annet Irland. Også i Skottland har en tatt i bruk slike anlegg for humusvann, dels fra engelske leverandører, som på 90-tallet var svært interessert i å adoptere den norske løsningen.

Prinsipp og anleggsvarianter

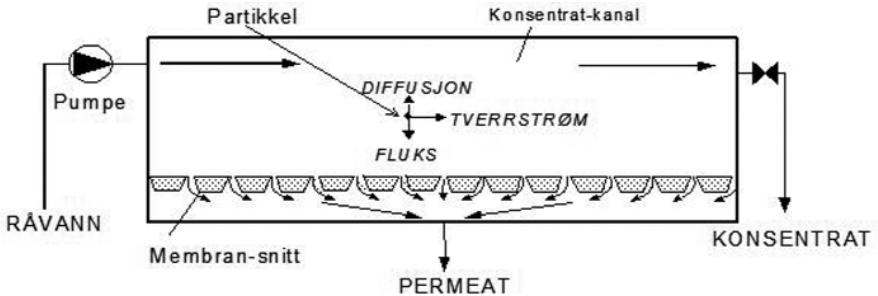
Prinsipp og egenskaper for membranfiltrering med bakgrunn i den norske varianten av metoden er presentert tidligere i en serie artikler i VANN i perioden 2001-2003, se under referanser. Membranteknologi omfatter mange ulike separasjonsmetoder:

- Prinsippet er filtrering (separasjon) gjennom en tynn semipermeabel membran
- Flere typer krefter kan brukes til å drive filtreringen: Trykk, konsentrasjonsgradienter, elektrisk spenningsfelt, dampdiffusjon osv.
- I elektrodialyse kan f.eks. salter, som er elektrisk ladet, fjernes fra vann ved at de trekkes gjennom membranen i et elektrisk spenningsfelt
- Det finnes en rekke varianter til ulike separasjonsprosesser i industrien. Innen medisin brukes metoden i nyremaskiner, til separasjon av komponenter i blod m.m.

- I vannrensning brukes hovedsakelig tverrstrømsfiltrering, der vannets trykk driver prosessen

Figur 1 viser en enkel skisse av hovedprinsippet for tverrstrømsfiltrering som altså er den metoden som brukes mest i vannbehandling. Her

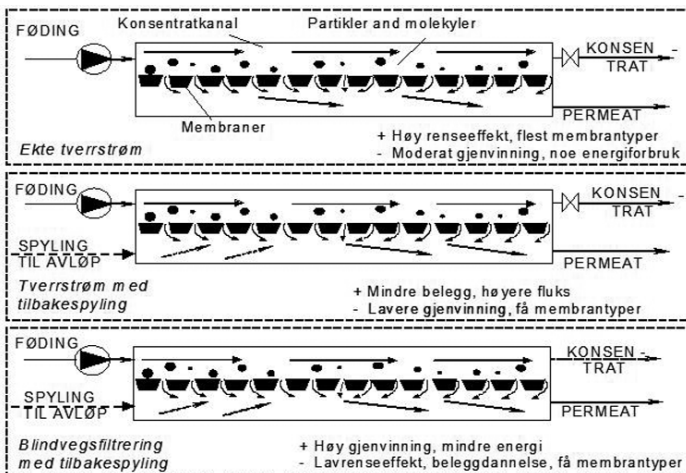
tilføres råvann under trykk og filtreringen skjer ved at vann presses gjennom membranen. Uønskede stoffer slipper ikke gjennom da partiklene er for store. Ansamling på membranen av stoffer som ikke passerer membranen motvirkes ved ulike diffusjonsprosesser (Thorsen, 2001).



Figur 1. Prinsippet for tverrstrømsfiltrering med membranfilter, slik som i norske anlegg.

Tverrstrømsfiltrering kan drives på ulike måter, for eksempel ved at membranen tilbakespyles noen sekunder med faste intervaller, for eksempel hver time. Spiralformede membraner, som brukes mest i Norge, kan imidlertid ikke tilbakespyles på grunn av

at de er limt i kanten. Da må en bruke kapillærmembraner. Disse er imidlertid normalt dyrere pr. m² membran og kjøres derfor med høyere fluks. Figur 2 gir en enkel oversikt over ulike driftsmåter og deres vanligste egenskaper.



Figur 2. Ulike måter å drive tverrstrømsfiltrering

Flere anvendelser innen drikkevannsbehandling

Bruk av spiralmembraner for nano-filtrering eller ultrafiltrering er typisk for de norske anleggene. Men det finnes membraner med ulike pore-diameter, alt etter hva en ønsker å fjerne fra råvannet (Thorsen 2001). Den viktigste forskjell driftsmessig er

at mindre porer krever høyere drifts-trykk. Slik sett er membrantekno-logien svært anvendelig for ulike behov i vannbehandlingen. Tabell 1 gir en oversikt over de mest vanlige anvendelsene, med angivelse av driftstrykk, membranporenes dia-meter og renseeffekt for ulike para-metere.

	Råvannstyper				
Råvannstyper →	Sjøvann	Grunnvann	Høy farge	Middels farge	Bakterier, SS
Prosess →	Avsaltning	Avherding	Fargefjerning		Fjerne turbid./disinf.
Anlegg - Driftstrykk - Pore diameter - Membranmetode ¹⁾	50-60 bar < 0.5 nm RO	10-20 bar 0.5 - 1 nm RO, NF	4 - 8 bar 1 - 2 nm NF	2 - 5 bar 2 - 5 nm NF, UF	0.5 - 2 bar 5 - 200 nm UF, CMF
Renseeffekt: - Farge (i NOM) - Susp. stoff - Salter - Bakterier - Virus	> 96 % 100 % 100 % 100 % 100 %	> 96 % 100 % 100 % 100 % 100 %	90 - 95 % 100 % 30 % 100 % 100 %	80 - 90 % 100 % < 20 % 100 % 100 %	10 - 80 % 90 - 100 % < 5 % 100 % 10 - 100 %

¹⁾ RO = omvendt osmose, NF = nanofiltrering, UF = ultrafiltrering, CMF = tverrstrøms mikrofiltrering

Tabell 1. Ulike anvendelser av membranfiltre i vannbehandling

I tabellen nevnes hva de ulike tverrstrømsmetodene blir brukt til. Metodene er RO (omvendt osmose), NF (nanofiltrering), UF (ultrafiltrering) og CMF (tverrstrøms mikrofiltrering).

Noen utviklingstrender

Membranteknologi har vært i bruk siden før krigen hvis en bruker den mest omfattende definisjon på hvilke prosesser som teknologien omfatter. Men tverrstrømfiltrering, slik vi kjenner det fra norsk drikkevannbehandling, har vært i bruk og i konstant vekst i om lag 40 år. Det er beregnet at markedet for membraner til denne type anvendelse var ca. 20 milliarder kr i

2005. Det var en økning på ca. 50 % fra 2000 og veksten fortsetter i dette tempoet. De to største anvendelsene er medisinsk bruk og vannrensing.

Med økende press på vannressursene må en forvente betydelig økning også i framtida. Membranfiltreringens generelle brukspotensiale gjør metoden egnet til en rekke ulike råvannstyper for drikkevannsframstilling, se tabell 1. Teknologien har også den fordel at den virker uten bruk av biologiske eller kjemiske prosesser som hele tiden må være riktig justert. Ingen kjemikalier brukes i renseprosessen, hvilket mange setter høyt i drikkevannsbehandlingen. Med

mindre en eller flere membraner får brudd, hvilket er sjelden, vil renseeffekten opprettholdes ved uregelmessigheter. I drikkevannsanvendelse er spiralmembraner og kapillærmembraner dominerende.

Med tanke på framtida og mulighetene for å løse de enorme problemene knyttet til manglende tilgang på rent vann, har membranfiltrering en udiskutabel rolle, både hva gjelder tradisjonell vannrensing, drikkevannsproduksjon fra sjøvann, og i forbindelse med gjenbruk av avløpsvann til ulike formål. Man observerer økende vannstress og et grunnvannsspeil som synker med katastrofal hastighet mange steder i verden. Situasjonen er urovekkende, og det sett i et perspektiv på bare noen få år. Kvaliteten og mengden av tilgjengelig ferskvannsressurser synker stadig i forhold til behovet. Membranfiltrering er den eneste kjente metode som generelt er i stand til å løse disse utfordringene.

I Norge har metoden som nevnt vært i bruk hovedsakelig siden 1989 i offentlig vannforsyning. Vi har nå ca. 120 anlegg i Norge. De fleste brukes for fargefjerning kombinert med desinfeksjon. De erfaringene som er gjort gir et godt utgangspunkt for forbedringer. Kanskje kan dette utnyttes til å styrke norsk ekspertise på det internasjonale markedet.

Det brukes nesten bare spiralformede membraner av celluloseacetat i Norge. Forsøk pågår med å introdusere kapillære membranmoduler og bruk av forkoagulering i slike moduler, men dette er ikke vanlig ennå. Vi må avvente hva erfaringene blir, men man mister altså fordelene

ved ikke å bruke kjemikalier i rensingen. Rundt 70 % av brukerne i Norge er fornøyd med anlegget – det er bedre enn for alternative metoder.

Er det grunn til norsk bekymring?

Etter ca. 17 års erfaringer er noen typiske problemer blitt synlige, se innledningen. Membrananlegg er i stor grad automatisert og det er ikke behov for spesiell daglig oppfølging av rensesprosessen som sådan. Men det er potensielle problemer og de er hovedsaklig knyttet til dannelse av belegg på membranen. Men belegg oppstår langsomt over uker og måneder. Belegget medfører redusert permeabilitet for membranene (kapasitet), men dette kan lett kompenseres på kort sikt ved å øke trykket. Det gjøres likevel rutinemessig på vinteren fordi lavere råvannstemperatur forbigående også gir redusert permeabilitet. Det er avgjørende for vellykket drift at en oppdager redusert permeabilitet og fjerner årsaken.

En kopi av journalen som fylles ut på anlegget, bør oppbevares på teknisk etat. Journalene bør føres inn i et regneark der anleggets tilstand til enhver tid er dokumentert og ulike tilstandsvariable for anlegget til enhver tid beregnes. Regnestykkene er meget enkle og kan ligge innbakt i regnearket. Dette krever neppe mer enn et par arbeidstimer per måned og det muliggjør en enkel løpende kontroll på anleggets tilstand.

To av de viktigste tilstandsvariable er permeabilitet og spesifikt tverrstrømstrykk. Det første er forklart ovenfor. Det siste er det trykkfall en

vil ha langs membranen ved en tverrstrøm på 6 m³/time, som gir beskjed om økende trykkfall på grunn av slamansamling i spacer-nettet. Slik slamansamling vil redusere tverrstrøms-hastigheten og det vil igjen øke muligheten for økt slamansamling og mem-

branbelegg. Dette er altså et selvforsterkende problem. Det samme kan sies om membranbelegg, der et belegg har lettere for å fange om mer belegg enn en ren membran. Disse forholdene forsterker behovet for løpende oppfølging av anleggets tilstand.

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

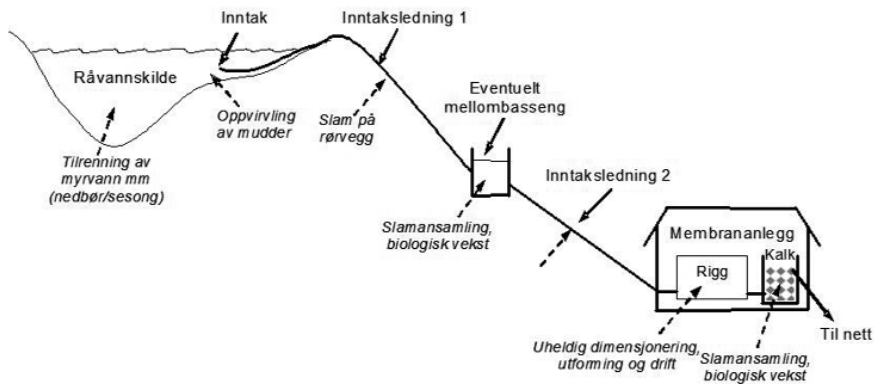
$$\text{Spesifikt tverrstrømstrykk} = (\text{innløpstrykk} - \text{utløpstrykk}) \cdot \left(\frac{6 \cdot 2}{\text{tverrstrøm inn} + \text{tverrstrøm ut}} \right)^{1,8}$$

Det kan være aktuelt å redegjøre mer detaljert for slike oppfølgingsrutiner i en egen utredning. NORVAR får for tiden utført en driftsundersøkelse med fokus på drift og hygienisk barriere i membranlegg. Kanskje vil en nærmere beskrivelse av en rutine bli tatt med her. Det kan uttrykkes noe bekymring for brukernes oppfølging av anleggene. Det kan ha sammenheng med den tekniske bemannings-situasjonen i kommunene. Men det kan også skyldes at slike rutiner ikke har vært vanlige. Noe av det samme kan til dels sies om leverandørene. Vi kunne ha behov for noe kompetanseheving. Denne kompetansen kan trenge støtte fra forskningsmiljøene og det er viktig at denne finnes.

Årsaker og tiltak

I figur 3 finnes en grafisk oversikt som viser noen steder i komplette membranlegg der årsak til beleggproblemer på membranene eller slamoppbygging i spacer-nettet kan oppstå. Det vil føre for langt å redegjøre for alle disse, men figuren taler for seg selv. En kan dele partikler i råvann som tilføres anlegget i tre grupper:

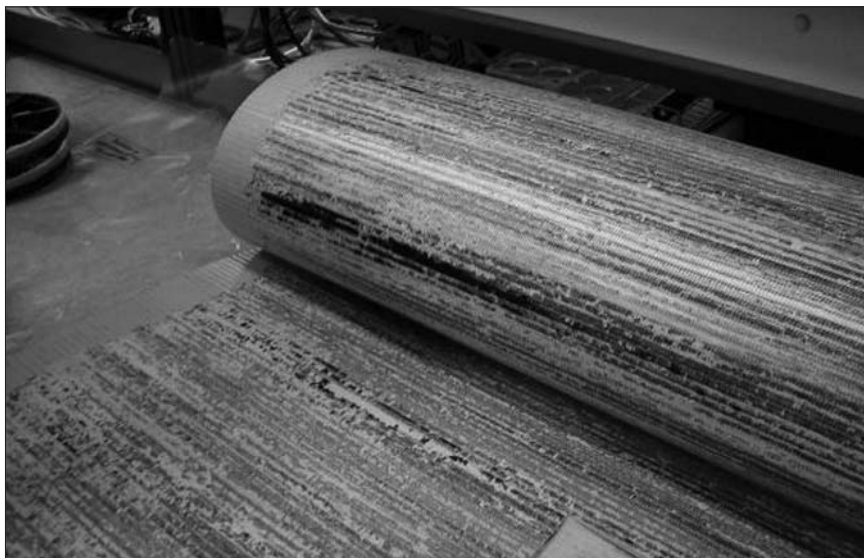
1. Partikler over 5 µm i størrelse: Disse vil i stor grad sedimentere i en innsjø og skal derved ikke trekkes inn i inntaket. Men elver utgjør et problem her. Slike partikler vil først og fremst bidra til slamansamling i spacer-nettet
2. Partikler mellom 0,1 og 5 µm: Disse vil ikke sedimentere effektivt og følger derved råvannet inn i anlegget. Det er disse partiklene som først og fremst gir membranbelegg. Det er vist at et forfilter på 0,1 µm effektivt hindrer membranbelegg. Det beste en kan gjøre uten et slik forfilter er å holde fluksen under en kritisk verdi, for eksempel 17 l/m²t. Ved bruk av høyere fluks bør man være sikker på at råvannet er gunstig nok til at dette kan tillates. Pilotforsøk over noen måneder i forkant er sterkt ønskelig
3. Partikler under 0,1 µm: Disse skal ikke være noe stort problem dersom en bruker en membran som ikke gir kjemisk adsorpsjon av humus. Cellulosemembraner har vist seg best egnet.



Figur 3. Mulige problemsteder i norske membranlegg

Figur 4 viser hvordan en membran ser ut etter mange måneders drift. Normalt skal det være et mørkt brunt og mykt smøraktig belegg som lett lar seg spyle av med vann. Dersom det er gråaktig kan det være innslag av leire eller bredslam i råvannet. Dette er det svært vanskelig å bli kvitt med membranvask. Andre ganger er belegget mer geléaktig og delvis gjennom-

siktig. Da kan vi ha et bioaktivt belegg, gjerne bakterier. Dette kan kanskje vaskes av, men årsaken bør finnes. Det kan være spesielle næringsbetingelse eller en spesiell bakterieflora i vannet. En bør også kontrollere at vaskemidlet er skylt godt ut etter kjemisk vask og at tverrstrømmen er god, det vil si over 4,5 – 5 m³/t overalt i en 8 tommer membran.

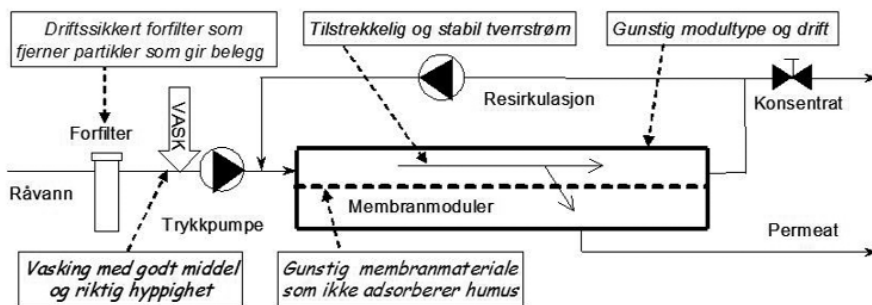


Figur 4. Typisk utseende på membran etter obduksjon ved SINTEF

Konklusjoner og forslag til forbedringer

For å sikre god drift i membranlegg i framtida er det nødvendig å finne gode tekniske løsninger på hvordan en skal unngå belegg. En oppsummering av tiltak for å begrense slamansamling og belegg er, se også figur 5:

- Unngå ugunstig membranmateriale som absorberer humus
- Utvikle/finne et forfilter som fjerner de partikler som lettest danner belegg
- Sørge for optimale driftsbetingelser, spesielt må fluksen ikke være for høy
- Unngå ugunstig råvann eller gjøre spesielle tiltak i slike tilfelle



Figur 5. Viktige forhold i anlegget for å sikre god drift

Som figuren viser er det flere enn én betingelse som må være oppfylt for at en effektivt skal unngå belegg. Dagens status for norske anlegg med hensyn til hvorvidt disse betingelsene er oppfylt og eventuelt hva en bør forbedre er:

1. Bruk av riktig membranmateriale er i stor grad løst tilfredsstillende i norske anlegg
2. Effektivt forfilter: Dette er ikke løst i dagens anlegg.
3. Riktige driftsbetingelser er trolig godt løst i de fleste anlegg, men det er forbedringspotensiale.
4. Ta hensyn til råvannskvaliteten ved anleggsutforming og drift: Her er det mye gjort
5. Vasking og skylling av membranene gjøres stort sett effektivt i norske anlegg

Referanser

Thorsen, T., "Partikkelstørrelsesfordelinger for humus og hvordan disse påvirker membranfiltrering.", VANN nr.3 (2000): 225.

Thorsen, T. og Fløgstad, H.;; "Membranfiltrering av humus – ny viten om belegg--dannelse, forfiltrering og modultyper.", VANN nr.2 (2001): 125.

Thorsen, T., "Muligheter og begrensninger ved membranfiltrering av drikkevann", VANN nr.1 (2001): 93.

Thorsen, T., " Membranfiltrering av humus – effektiv forfiltrering er avgjørende for driften", VANN nr.1 (2003): 3.