

# Membranfiltrering av humus – effektiv forfiltrering er avgjørende for driften.

Av Thor Thorsen og Harald Fløgstad

Thorsen og Fløgstad er forskere ved Avd. vannrensing og VA, SINTEF, Trondheim.

## Sammendrag

Resultatene fra et dr. grads studium finansiert av NFR viser at ved membranfiltrering av humusvann oppfører humus seg som enkeltpartikler. En modell basert på diffusjon bort fra membranoverflaten av partikler som er konsentrert opp her av fluksen, kan forklare renseseffekt, beleggdannelse og maksimal stabil fluks ved teknisk filtrering. I et oppfølgingsprosjekt, også finansiert av NFR, er det verifisert at partikler mellom 0,1 og 2 µm er særlig kritiske for beleggdannelse, slik teorien viser. Dersom konsentrasjonen av partikler i dette størrelsesområdet kunne reduseres ved forfiltrering, vil membranleggene spares for mange driftsproblemer og kapasiteten kan økes.

## Abstract

In a theoretical study it was found that in membrane filtration of surface water humic substances could be described as individual particles. A model based on diffusion of these particles away from the membrane after the flux had brought them there,

showed that particles in the range 0.1 – 2 µm were particularly critical for fouling. Experimental results verified that if the amount of particles in this range were reduced by prefiltration, the flux became much more stable.

## Innledning

To problemer har utpekt seg som spesielt viktige i norske membranlegg for filtrering av humusvann. Det ene er tendenser til nedsatt kapasitet over tid på grunn av belegg. Vasking av membranene gir driftsstopp, utslipp til resipient fra anleggene samt økte kostnader.

Det andre problemet er forfiltreringen. De fleste anleggene har forfiltrering med et selvspykende silfilter på ca. 50 µm. Det har vist seg at disse filterne kan ha problemer med kapasiteten, avhengig av råvannskvalitet og tilbakespylingens effektivitet. Problemet ytrer seg ved hyppig spyling eller i verste fall stopp fordi filtret ikke lenger klarer å spyle rent.

Beleggdannelse og forfiltrering er nær beslektede tema: Belegg dannes når forfiltreringen ikke er effektiv nok

og er sterkt begrensende på den fluks, eller kapasitet, som en kan oppnå i anleggene. Problemet er komplekst og påvirkes både av råvannet, anleggets utforming og driftsbetingelsene.

## Nye undersøkelser

Hverken silfiltre eller hurtigsandfiltre har hittil vist seg å gi noen god beskyttelse mot beleggdannelse på membranene. Chellam et al. (1997) gjorde forsøk med tverrstrøms ultra- og mikrofiltre som forbehandling ved rensing av humusholdig overflatevann. Dette er ingen god løsning da problemet bare flyttes til et annet membranlegg. Men den var effektiv og viste at beleggdannelsen kan reduseres betydelig hvis bare forfiltreringen er god nok.

Thorsen (1984) viste at grovere filtrering enn 3  $\mu\text{m}$  hadde begrenset effekt. Det antyder at belegget skyldes partikler som er mindre enn 3  $\mu\text{m}$ . Dette er bekreftet teoretisk i et dr.grads-studie (Thorsen 1999).

Et prosjekt for NFR i 2000 – 2002 tok blant annet sikte på å evaluere forfiltreringen. Følgende delundersøkelser ble gjort:

- 1) Undersøke ulikheter mellom kapillær- og spiralmembraner.
- 2) Undersøke effekten av å forfiltrere kritiske partikler.
- 3) Pilotforsøk med forfiltre som er effektive i kritisk område.

Resultatene fra prosjektet var tenkt brukt til å revurdere utforming og drift av norske drikkevannsanlegg. Det ble estimert at årlig potensiell besparelse ved norske anlegg er ca. 7 mill. kr. I tillegg fås en miljømessig gevinst

ved eventuell redusert kjemikaliebruk. Membranmaterialet påvirker også beleggdannelsen, men ble ikke evaluert i prosjektet. Prosjektet tok ikke sikte på å utprøve nye tekniske løsninger som sådan.

Resultatene fra del 1. og 2 i prosjektet ble presentert i to tidligere artikler av Thorsen (2001), og Thorsen og Fløgstad (2001).

Første del av prosjektet omfattet også en teoretisk evaluering i tillegg til forsøkene. Det ble konkludert at det er begrenset hva som kan oppnåes av beleggreduksjon ved å øke tverrstrømhastigheten. Det er praktiske begrensninger for hastigheten på grunn av økt energiforbruk og trykkfall. Høyt trykkfall medfører ujevn membranutnyttelse (lavere fluks nedstrøms) og økt mekanisk påkjenning på membranen. Man kan også tenke seg å forbehandle råvannet kjemisk, men det vil redusere membranens "kjemikaliefrie" profil.

I dag kjøres tekniske anlegg med spiralmembraner med en fluks rundt 20 l/m<sup>2</sup>t. Med god membran og god forfiltrering av kritiske partikkelstørrelser kan det i framtida kan være mulig å oppnå rundt 30 l/m<sup>2</sup>t. Her er en oppsummering av tidligere konklusjoner (Thorsen og Fløgstad, 2001):

- Det er utviklet en modell for NOM-partiklenes hydrodynamiske egenskaper, partikkelstørrelsesfordelingen og hvordan denne varierer med råvanntypen.
- En hydrodynamisk modell for konsentrasjonspolariseringen viser at belegg i stor grad skyldes partikler mellom 0,1 og 2 mm.
- Beleggdannelse oppstår ved en hu-

muskonsentrasjon på membranoverflaten over ca. 5 g/l.

- Kapillærmembraner danner lettere belegg enn spiralmembraner og krever spesielle tiltak for å unngå dette (tilbakespyling etc.).
- Mest effektivt for høyere fluks og mindre belegg er godt egnet membranmateriale og effektiv forfiltrering.

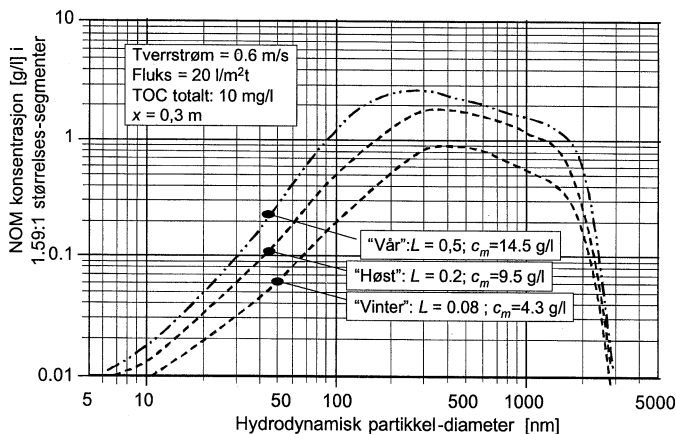
De nye teoretiske modellene gjør det mulig å forutsi faren for beleggdannelse og hvilken fluks som er forsvarelig med en gitt membranmodul og gitte driftsbetingelser. De gjør det også mulig å forutsi årtidsforskjeller i så måte, samt hvilke partikkelstørrelser som skaper problem. Dette er illustrert i figur 1 som viser konsentrasjon av NOM på membranoverflaten som funksjon av partikkelstørrelse. Vi ser at belegg først og fremst dannes av partikler i området 0,1 – 2 µm.

Figuren viser at vi på våren får

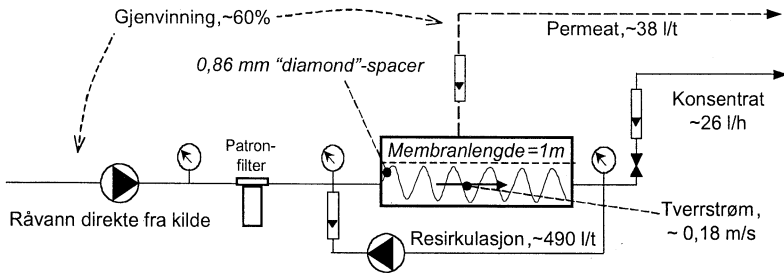
høyest beregnet overflatekonsentrasjon (14,5 g/l i figuren). Modellen viser at overflatekonsentrasjonen øker omlag med fluksen i tredje potens. For å redusere konsentrasjonen til en sikker verdi på våren, under 5 g/l, kan vi derfor redusere fluksen til  $(5/14,5)^{0,33} = 0,70$ , dvs. 30% reduksjon for å få full kompensasjon. Parameteren  $L$  i figuren angir relativt innhold av store NOM-partikler og varierer med årstiden (Thorsen og Fløgstad, 2001).

### Pilotforsøk med forfiltre.

Forsøkene med ulike forfiltre i laboratoriet under 2) ovenfor ble gjennomført med høy fluks slik at det ville være mulig å framkalle beleggdannelse på relativt kort tid. Et pilotforsøk under mer realistiske betingelser krever lengre forsøksstid med en lavere og mer aktuell fluks. Derfor ble følgende betingelser valgt for pilotforsøket (se figur 2):



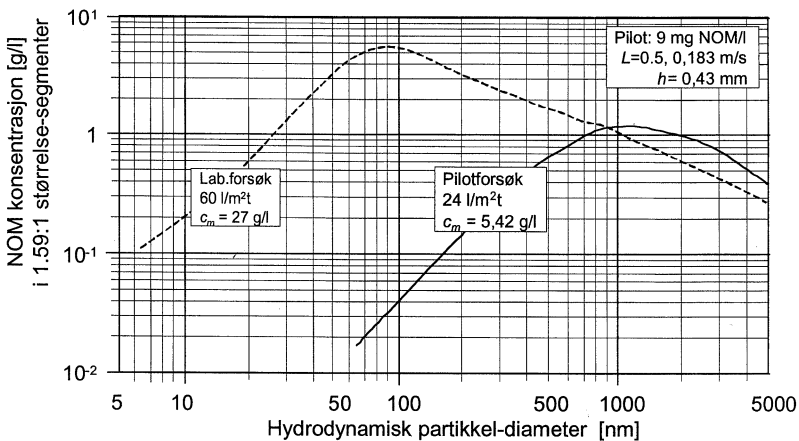
Figur 1. Overflatekonsentrasjoner, totalt (se boksene) og som funksjon av partikkeldiameter i årstider og fluks 20 l/m<sup>2</sup>t (åpen flat kanal med høyde 1mm), 30 cm fra innløpet til kanalen, som gir et gjennomsnitt for en 1 m lang modul, driftsbetingelser er gitt i figuren).



Figur 2. Betingelser som ble valgt for pilotforsøket.

- Høy, men realistisk fluks med spiralmembraner: 24 l/m<sup>2</sup>t.
- Spiralmoduler med full lengde (1,6 m<sup>2</sup> membran).
- En typisk membran for norske anlegg (8 kD celluloseacetat).
- Vanlig tverrstrøm i tekniske anlegg: 0,18 m/s.
- Betingelser som gir høy, men realistisk NOM-konsentrasjon på membranoverflaten.

Figur 3 viser at beregnet konsentrasjonen av NOM på membranoverflaten uten forfiltrering er 5,4 g/l. Da måtte en forvente beleggdannelse



Figur 3. Beregnede konsentrasjoner av NOM på membranoverflaten ved de betingelser som ble valgt for pilotforsøket.

etter noe tid. Forsøkene ble hovedsakelig kjørt i juni, så  $L$  er satt til 0,5. De kritiske partiklene var større enn i laboratorieforsøket, der fluksen var høyere (Thorsen og Fløgstad, 2001). Det vil skje når en velger betingelser som gir lavere enn kritisk overflatekonsentrasjon. I pilotforsøket måtte vi forvente at nesten alle partiklene i belegget var større enn  $0,1 \mu\text{m}$  og at omlag halvparten var større enn  $1,2 \mu\text{m}$ . Det var derfor ventet at et  $0,1 \mu\text{m}$  forfilter vil være ganske effektivt til å hindre beleggdannelse.

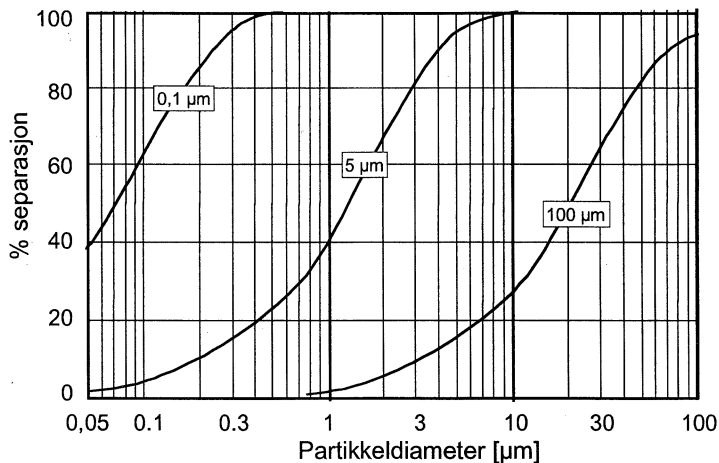
Det ble kjørt tre parallelle spiral-membraner med tre ulike grader av patronfilter (Millipore polygard) i forfilteret. Figur 4 viser patronenes omtrentlige karakteristikk, men denne gjelder mineralpartikler og nøyaktigheten er derfor begrenset for NOM. Et  $5 \mu\text{m}$  forfilter så ikke ut til å fjerne mye av de kritiske partiklene. Vi valgte derfor  $5 \mu\text{m}$  som nest fineste for-

filter. Dagens forfilterpraksis i norske anlegg (referanse) ble simulert med et  $100 \mu\text{m}$  filter. Pilotanlegget ble plassert ved Leirsjøen i Bymarka ved Trondheim. Fargetallet varierer her normalt mellom 20 og 35 og TOC mellom 3 og  $4 \text{ mg/l}$ .

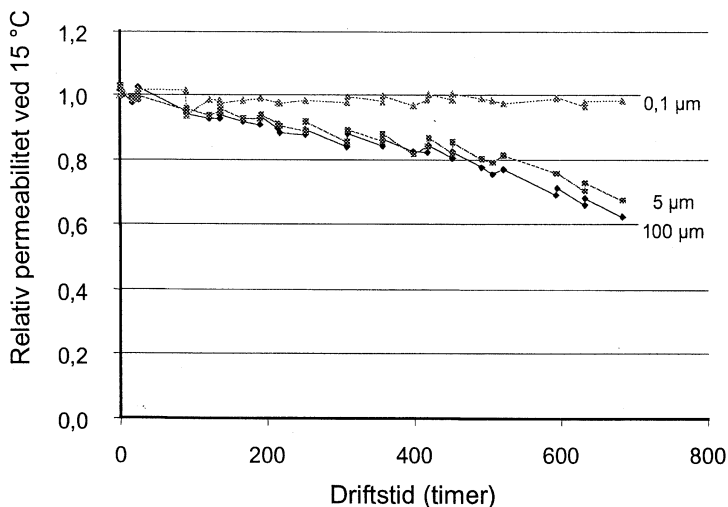
Anlegget gikk døgkontinuerlig fra 6. juni til 5. juli 2002, til sammen 687 driftstimer. 2 - 3 ganger pr. uke ble membranene skylt med klorert vann med ca.  $20 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$  for å hindre bakterievekst. Driftsbetingelsene var konstante. Patronfiltrene med gradering 100 og  $5 \mu\text{m}$  viste ingen signifikant økning av trykkfallet, men for  $0,1 \mu\text{m}$  måtte patronen skiftes fire ganger.

## Resultater og diskusjon

Hovedresultat fra forsøket er membranenes relative permeabilitet omregnet til konstant temperatur, i vårt tilfelle  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Den relative permeabilitet er et direkte mål på belegg-



Figur 4. Beregnet separasjonsevne for filterpatronene i pilotforsøket (etter produsentens data).



Figur 5. Relativ permeabilitet for de tre membranene gjennom pilotforsøket.

dannelsen fordi belegget gir en økt strømningsmotstand for fluksen

Hovedresultatet, som er gitt i figur 5, er meget entydig. Vi ser at permeabiliteten er praktisk talt konstant for membranen med 0,1 µm forfiltrering. De andre forfiltrere gav 30 – 40 % reduksjon i permeabilitet. Alle membraner vil ha en liten initiell nedgang i permeabilitet de første 100 timene. Det kan se ut som 0,1 µm overhodet ikke gir reduksjon mellom 100 og 687 timer.

Dette resultatet stemmer med den skulle forvente ut fra figur 3 og 4. Forfiltrering ved 5 µm gir kun en liten forbedring i forhold til 100 µm. 0,1 µm gir derimot ingen eller svært lite beleggdannelse.

Dette er en betydningsfull erkjennelse og viser hva som skal til av mekanisk forfiltrering for å gi en betydelig bedre og mer økonomisk utnyttelse av membranfiltere i norsk drikkevannsbehandling.

Utfordringen er helt klart hvordan

en skal kunne realisere en så fin forfiltrering. Patronfiltere er neppe noen god løsning. Forsøkene viste at de må skiftes ukentlig.

Tabell 1 viser noen analyser som ble utført på prøver tatt under forsøket. Generelt viser analysene at råvannet har ca. 3 mg TOC/l som er omlag som ventet. Andre analyser viste ingen overraskelser i forhold til et typisk norsk NOM-vann. Renseeffekten for TOC er 65 – 70% og for farge ca 90%, som var ventet med den membranen som ble brukt. Dette gjelder ved den gjenvinning vi hadde i pilotanlegget, ca. 60%.

Vi kan også se av tabellen at renseseffekten øker ved bruk av finere forfilter. Årsaken er trolig at et grovere forfilter gir mer belegg, hvilket hindrer tverrstrøm og diffusjon ved membranoverflaten. Da øker humuskonsentrasjonen her, og renseseffekten synker. Membrantypen har selvsagt størst betydning for renseseffekten.

Driftstimer	Prøve	Forfilter µm	TOC		Farge 1)	
			mg/l	Renseeffekt	mg Pt/l	Renseeffekt
309	Råvann	-	3,04	-	27,7	-
309	P1	100	1,11	63,5	3,7	86,8
309	P2	5	1,07	64,8	3,2	88,3
309	P3	0,1	0,85	72,0	2,1	92,3
632	Råvann	-	2,88	-	24,0	-
632	P1	100	1,19	58,7	4,5	81,1
632	P2	5	1,12	61,1	4,3	81,9
632	P3	0,1	0,87	69,8	2,9	88,0

1) Fargeanalyse på ufiltrert prøve ved 309 timer og på filtrert prøve ved 632 timer.

Tabell 1. Noen analyser og samlet renseseffekt etter forfilter og membran.

## Konklusjoner

- En teoretisk modell for membranfiltrering av humusvann viser at partikler mellom 0,1 og 2 µm er svært kritiske for beleggdannelse.
- Forfiltrering av disse partiklene gir langt mindre beleggdannelse og membranens fluks kan økes.
- Slik forfiltrering øker også renseseffekten noe.
- Bedre forfiltere kan avhjelpe problemer i rensaneanleggene m.h.t beleggdannelse og kapasitetsnedgang.

Thorsen, T. (1984): "Drikkevannsrensing med omvendt osmose – forsøksrapport", Rapport STF21 A84071 for NTNf/MD/KAD.

Thorsen, T. (1999): "Fundamentale studier av membranfiltrering av humusholdig drikkevann", dr.grads studium (publ. 2001), Trondheim.

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

## Referanser

Chellam ,S. Jacangelo, J.G., Bonacquisti, T.P. og Schauer, B.A. (1997): "Effect of pretreatment on surface water nanofiltration", Journal AWWA 89,10,77.

Thorsen, T. og Fløgstad,H. (2001):" Membranfiltrering av humusvann – ny viten om beleggdannelse, forfiltrering og modultyper", VANN nr 2.