

# Omvendt osmose for humusfjerning

Av Thor Thorsen

Thor Thorsen er siviling. fra NTH og ansatt som forsker på SINTEF.

Presentert på vanddagene, NTH, 1982.

## INNLEDNING

### Udekket behov

Det finnes idag en rekke vannforsyningsanlegg i Norge der både vannkvalitet og tilstrekkelig vannmengde er et problem. Ikke minst er dette problemet følbart i en rekke kystkommuner. Den hyppigste forurensning av vannkildene er humus (farge), bakterier og til en viss grad alger. Særlig i mindre vannverk under 500 p.e. kan det være vanskelig å finne tilfredsstillende rensetekniske løsninger. Ofte vil en velge overføringsledninger, herunder sjøledninger, selv om denne løsning er dyrere enn kjemiske fullrenseanlegg. De kjemiske fullrenseanlegg i sin tradisjonelle form har vist seg vanskelig å drive i små enheter. Dels skyldes dette driftstekniske forhold, som krav til kvalifisert personell og tilsyn, dels skyldes det varierende kvalitet og temperatur på råvann fra kilden. I en slik situasjon kan omvendt osmose vise seg å være et godt alternativ.

Behovene for industribedrifter og sykehus er mye de samme. Her dreier det seg ofte om spesielle krav til stabil og høy vannkvalitet. Mengdene er små sett i forhold til offentlig vannforsyning. Disse brukere burde derfor være spesielt oppmerksomme på mulighetene med omvendt osmose.

## Renseeffektivitet og valg av anlegg

Idag finnes det ca. 10 prosessstekniske fullskalaanlegg i norsk industri, vesentlig i meieriindustrien. Anleggene benyttes her til fjerning av stoffer fra vann av vesentlig mer problematisk kvalitet enn naturlige vannkilder. Noen mindre anlegg benyttes til fremstilling av sterilt høyrent vann i sykehus. Erfaringer etter noen års bruk i industrien må sies å være meget gode.

Selv om rensemetodene bør utprøves med tanke på optimalisering, kan renseseffektiviteten forutsies med relativt stor sikkerhet. Følgende tabell gir en pekepinn for viktige parametre i drikkevannssammenheng:

Tabell 1. Renseeffektivitet.

| Parameter          | Renseeffekt |
|--------------------|-------------|
| Humus              | etter behov |
| Alger & partikler  | 100%        |
| Bakterier & virus  | 100%        |
| Salter & mineraler | 10—90%      |
| Permanganat        | etter behov |
| Lukt & smak        | ?           |
| Haloformer         | ?           |

Her vil hovedvekten bli lagt på fjerning av humus (farge) og så får vi de øvrige data på kjøpet. Metoden benyttes forøvrig til avsalting av sjøvann til drikkevann i tildels meget store anlegg i tørre

strøk, spesielt i Midt-Østen. For humusfjerning finnes det imidlertid få erfaringer. Ingen fullskalaanlegg er etter vår viten i drift spesielt for humusfjerning.

### Undersøkelser som er gjort

Ved SINTEF har vi siden 1976 arbeidet med membranteknikker, herunder omvendt osmose, opprinnelig med tanke på rensing av industriavløpsvann. Metoden syntes imidlertid også å kunne egne seg til drikkevannsrensing. I 1977—78 ble det derfor utført et dring. studium ved Institutt for vassbygging og SINTEF over rensing av humusholdig vann med omvendt osmose. Vi vurderer resultatene herfra som positive. Ved forsøkene var den lengste driftstid 2 uker.

I 1980 er det ved SINTEF kjørt ett nytt forsøk med humusvann over 24 dager. Det nye langtidsforsøket ble kjørt med et annet anlegg enn ovenfor. Samme anlegg ble også brukt i noen korte forsøk med ulike membraner.

I februar 1982 startet et langtidsforsøk over ca. 6 måneder på Orkanger i Sør-Trøndelag. Her benyttes et større pilotanlegg som er bygget opp og utstyrt om lag som vi venter fullskalaanlegg bør være. Egentlig består anlegget av tre separate anlegg. To går kontinuerlig, et lite anlegg med flere membrantyper, og et

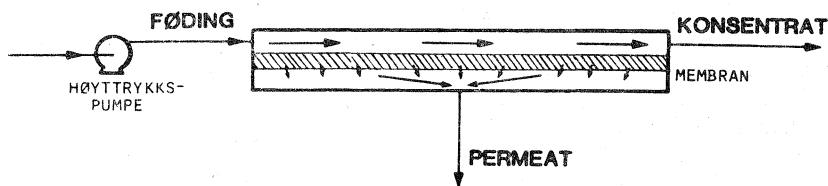
større anlegg med kapasitet ca. 300 liter pr. time. Det tredje anlegget består av 5 ulike membrantyper og benyttes til spesielle forsøk.

I det følgende vil noen resultater fra disse undersøkelsene bli presentert. Det er bevisst ikke tatt med teori og detaljer omkring forsøkene samt økonomien. Dette er fylldigere omtalt annensteds. Det er derimot lagt vekt på å få fram nyttige fakta om ytelse ved omvendt osmose for drikkevannsrensing med hovedvekt på humusholdig råvann. Men først vil kort skisseres hva metoden går ut på.

### MEMBRANFILTRERING

#### Prinsipp

Grovt og generelt forklart er membranfiltrering en separasjonsprosess der oppløsningsmiddel og oppløst stoff (gasser eller væsker) skilles ved at en av disse bringes til å passere en semipermeabel («finperforert») membran. Den vanligste form for membranfiltrering er omvendt osmose (OO) og ultrafiltrering (UF) anvendt på vandige oppløsninger. Her presses vann gjennom membranen ved trykk samtidig som den stadig mer konsentrerte oppløsning passerer med en viss hastighet langs membranen og tilslutt ut av anlegget, se figur 1.



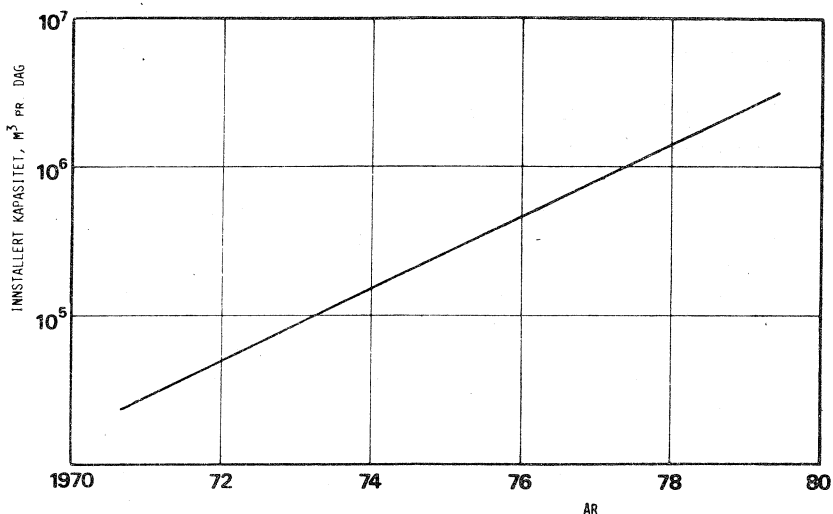
Figur 1. Prinsippskisse av OO eller UF-anlegg.

Bestemmende for separasjonsgraden er forhold som diffusivitet, oppløselighet av stoff i membranoverflaten, molekylstørrelse og — form. Porenes diameter ligger i området 5—50 Ångstrøm.

Nesten enhver separasjon av stoff fra vann er mulig, fra små molekyler med molvekt under 100 via kolloider til mikro-partikler. Oppkonsentrering kan i praksis gjøres opp til ca. 20 vekt-% dersom utfelling på/i membranen ikke finner sted.

## Historikk

Omvendt osmose og ultrafiltrering er kanskje den største nyvinning innen separasjonsteknikken i 70-årene. I en tid med stagnasjon i industrien blir installert kapasitet på avsaltingsanlegg basert på membranfiltrering 10-doblet hvert 4 år og nærmer seg nå 10 mill. m<sup>3</sup> pr. dag på verdensbasis. Figur 2 viser utviklingen i 70-åra (etter B. Hallström, Lund). En liknende utviklingstakt er ventet også i 80-åra.



Figur 2. Installert kapasitet for avsalting i membranfiltreringsanlegg.

## Spesifikasjon av egenskaper

Det vil føre for langt å forklare alle spesifikasjoner. I noen grad vil imidlertid de samme datatypene gå igjen. Anleggene spesifiseres ved driftsbetingelser (temperatur, trykk, kjemisk miljø), fluks (1/m<sup>2</sup>-time) og tilbakeholdelse av spesielle stoffer, R. Tilbakeholdelse for stoffet i defineres slik:

$$R = \frac{C_k - C_p}{C_k} 100\%$$

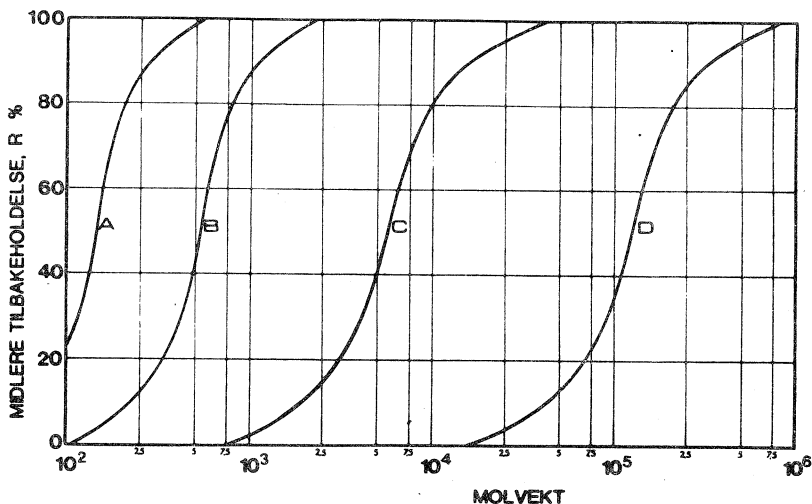
der  $C_k$  = konsentrasjon av stoffet i konsentratet

$C_p$  = konsentrasjon av stoffet i permeatet

En vanlig spesifikasjon av 00-membraner er tilbakeholdelse av NaCl. Eksempel-

vis vil en membran med tilbakeholdelse 97% for NaCl ha tilbakeholdelse området 70—99,9% for de fleste andre uorganiske salter. Tilbakeholdelse av organiske forbindelser knyttes gjerne til begrepet molvektcutoff, som er molvekten til det stoff som har tilbakeholdelse 90%. Figur

4 illustrerer dette. I figuren er membran A og B 00-membraner, mens C og D er UF-membraner. Overgangsområdet mellom de to membrantypene tilsvare molvektcutoff 500—1000 eller poreåpning 10—15 Ångström.



Figur 3. Midlere tilbakeholdelse som funksjon av molvekt for 00- (A og B) og UF-membraner (C og D).

Driftstrykk for 00-membraner er 20—80 bar, for UF 1—20 bar. Fluksen er fra 10 til flere hundre liter pr. m<sup>2</sup> og time, høyest for UF. Når det gjelder øvrige data, så er disse oftest et prisspørsmål når molvektcutoff eller poreåpning er fastlagt. Man får membraner for pH 0—14 og temperaturer opp til 100°C. De rimeligste membraner lages av celluloseacetat og bør brukes ved pH 2—8 og opptil 35°C.

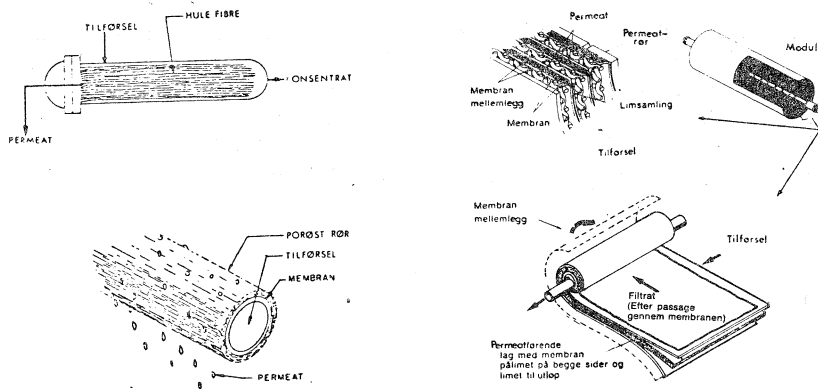
Innbygging av membranene i «moduler» i komplette anlegg varierer mye. Mo-

dulene består vanligvis av et visst areal membran anordnet som hulfiber, spiral eller rør, se fig. 4.

## RENSETEKNISKE EGENSKAPER

### Ulike membraner og vannkilder.

Det mest typiske norske behov for vannrensing er fjerning av: Humus, alger, partikler, bakterier, virus og pyrogener. Fjerner en disse vil også turbiditet (uklarhet) fjernes. Permanganantall er mye brukt som mål på organiske stoffer, det



Figur 4. Membran og -modulformer.

henger ofte sammen med humusinnholdet. Valg av membran vil derfor avgjøres av den lavmolekylære delen av humusinnholdet.

En rekke forsøk med ulike membraner er utført med tre ulike naturlige overflatevann fra Trøndelag. Resultatene med disse tre vannkvalitetene er så sammenfåne at det ikke er noen grunn til å skille dem. Kildene ligger imidlertid i samme type vegetasjon, slik at noe forskjell kan tenkes med vanntyper fra andre områder. De membraner som er testet er levert av fem produsenter og modultypen er ulik:

Tabell 2. Membranfabrikat som er testet.

| Produsent                 | Modultype   |
|---------------------------|-------------|
| De Danske Sukkerfabrikker | Plate-ramme |
| Paterson Candy Int.       | Rør         |
| Osmonics                  | Spiral      |
| Millipore                 | Spiral      |
| MMD                       | Spiral      |
| Dupont                    | Hulfiber    |

Tabell 3 viser resultatene for 13 ulike membraner med molvektcutoff fra ca. 200 til ca. 20 000. Tabellen viser renseseffektivitet som tilbakeholdelse, R, kapasitet, maksimalt anbefalt driftstrykk, driftstrykk for forsøkene, samt molvekt-cutoff. Kvaliteten på råvannet var slik:

Farge: 50—200 mgPt/l

Permanganattall: 7—25 mgO/l

pH: 5,5—7,5

Tabellen gir en viss pekepinn for membranvalg. For fargefjerning bør molvektcutoff være 500—2000. Dette gir da en tilbakeholdelse av salter (ledningsevne) på 5—60% og for permanganat 60—95%. De øvrige kvalitetsparametre skal vi komme tilbake til.

## 2.2. Gjenvinningsgrad

Med gjenvinningsgrad menes her utbyttet av rent vann i forhold til tilført råvann:

Tabell 3. Ytelse for 13 ulike membraner.

| Membran    | Molvekt-cut | Renseeffektivitet % |          |           | Kapasitet<br>l/m <sup>2</sup> h.bar | Driftstrykk, bar |        |
|------------|-------------|---------------------|----------|-----------|-------------------------------------|------------------|--------|
|            |             | Farge               | Permang. | Ledn.evne |                                     | Maks             | Forsøk |
| SEPA-20KCA | 20000       | 80                  | -        | -         | -                                   | -                | 3,6    |
| SEPA-OPS   | 2000        | 83                  | -        | -         | 14                                  | 15               | 3,6    |
| SEPA-OCA   | 1000        | 85                  | 60       | 17        | 7                                   | 15               | 7-15   |
| SEPA-50CA  | 600         | 98                  | 80       | 65        | 2,2                                 | 21               | 11     |
| SEPA-89CA  | 400         | 100                 | 90       | 82        | 1,6                                 | 43               | 11-15  |
| SEPA-97CA  | 200         | 97                  | 98       | 85        | 1,0                                 | 60               | 7-15   |
| DDS-600    | 20000       | 70                  | 58       | 13        | 21                                  | 10               | 5-10   |
| DDS-800    | 6000        | 75                  | 66       | 18        | 10                                  | 20               | 10-20  |
| DDS-865    | 500         | 95                  | 90       | 60        | 3,1                                 | 40               | 10-50  |
| DDS-870    | 500         | 100                 | 96       | 78        | 2,1                                 | 50               | 10-50  |
| PCI-T4A    | 3000        | 80                  | 67       | 23        | 6,3                                 | 10               | 5-10   |
| PCI-T2A    | 800         | 100                 | 95       | 44        | 4,3                                 | 25               | 10-20  |
| PCI-T2/15N | 300         | 100                 | 97       | 92        | 0,9                                 | 80               | 10-40  |

$$\text{Gjennvinningsgrad} = \frac{\text{Permeatmengde}}{\text{Råvannsføding}} \times 100\%$$

I råvannet finnes et meget stort antall kjemiske forbindelser, partikler mm. Eksempelvis vil humusinnholdet bestå av molekyler med molvekt fra noen hundre til flere hundre tusen. Etterhvert som fødingen passerer gjennom renseanlegget vil de mest lavmolekylære forbindelser først passere membranen. Tilbakeholdelsesgraden, R, er som kjent høyere for høymolekulære stoffer. Derved vil R øke gjennom anlegget og bli høyere jo høyere gjennvinningsgraden er. Total (akkumulert) renseseffekt vil derfor være gunstigere ved høy gjennvinningsgrad for humus enn for rene kjemiske forbindelser. Figur 5 viser total rensesgrad for humus for ulike verdier på

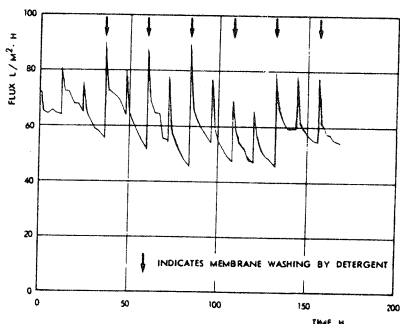
initieell tilbakeholdelse (gjennvinningsgrad = 0%).

#### Langtidsstabilitet.

Det store økonomiske spørsmål er om anleggene fungerer like godt etter det første driftsdøgn. Hva med beleggdannelse og nedsatt kapasitet? Det er kjent at større avsaltingsanlegg og anlegg i industri kan gå i 2 år og mer før kapasiteten er betydelig redusert, la oss si til 70%. En leverandør hevder opptil 7—8 år i vannrensing med god forbehandling.

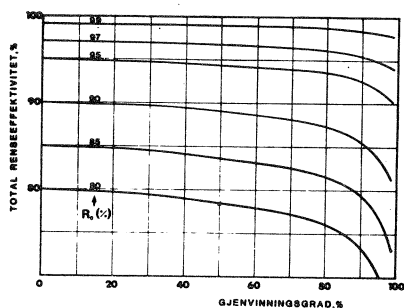
Ved NTH/SINTEF er det i 1978—80 utført to forsøk over 170—200 timer med

humusvann. I det ene forsøket ble det benyttet vann fra en kilde med fargetall ca. 60 og bare grovsiling som forbehandling. Her viste det seg nødvendig med gjennomspyling med detergent minst 1 gang i døgnet for å opprettholde fluksen. Likevel var middelkapasiteten redusert med ca. 20% etter 170 timer, se figur 6.



Figur 5.

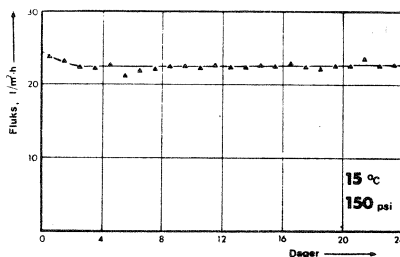
Total (akkumulert) rensgrad for humus ved økende gjenvinningsgrad.



Figur 5. Fluks over tid med rengjøring.

I det andre forsøket, som gikk over 196 timer, ble et annet råvann, med fargetall ca. 140 benyttet. Her var det en sil foran modulen med 0,15 mm lysåpning. Her ble det bare benyttet rengjørings-

middel en gang, ellers ble anlegget skyllet 5 minutter med permat på konsentrat-siden pr. dag. Ingen effekt hverken av vasking eller skylting var signifikant. Fluksen var tilnærmet konstant fra 20 til 196 timer fra start. En initiell fluktreduksjon på 10% de første to dager ble observert. Da membranen var ny, er dette naturlig også uten belegg. Resultatet er vist i figur 7.



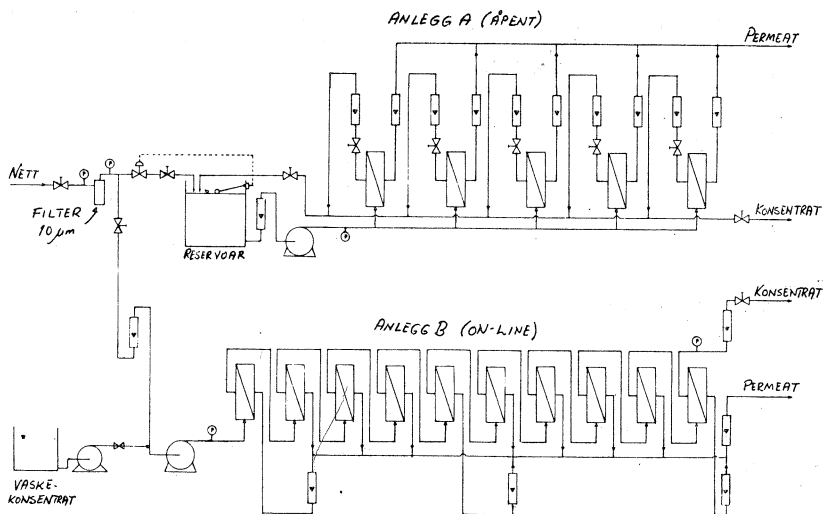
Figur 7. Fluks som funksjon av driftstid.

En separat undersøkelse av vann med tilsatt av finsuspendert bentonitt viste at konsentrasjoner over 100 mg/l var kritiske. 133 mg/l gav 50% fluksreduksjon etter 5 timer (rørmodul). Forøvrig viser forsøkene at renseseffektiviteten holder seg konstant.

Langtidsforsøkene på Orkanger er enda ikke avsluttet. Men etter ca. 2.500 driftstimer har vi en god indikasjon på hvordan det går. To av anleggene er grovt skisert i figur 8.

Anleggene er som nevnt bygget omlag slik vi mener et fullteknisk anlegg bør være. Dette innebærer bruk av et forfilter (mikrosil) på ca. 10  $\mu$ m lysåpning. Derneft må det være et system for regelmessig vask av anlegget.

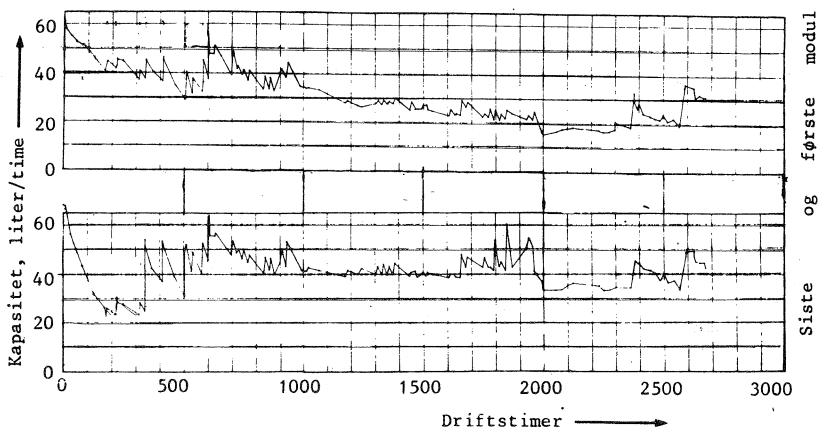
Forsøkene viser at vask er nødvendig minimum 1 gang pr. uke for å fjerne belegg på membranen samt desinfisere mo-



Figur 8. Skisse av deler av Orkangeranlegget.

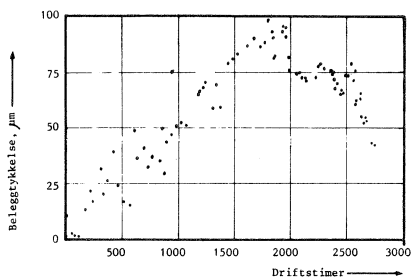
dulene (5 ppm  $\text{Cl}_2$ ). Mye av tiden under forsøkene har gått med til å finne fram til et egnet vaskemiddel og vaskeprosedyre. Figur 9 viser kapasitetsutviklingen over tid for to av modulene. Figur 10

viser utviklingen av beleggets tykkelse. Vi ser effekten (økt kapasitet) av det første utviklede vaskemiddel i figur 9, mens forbedring av dette middel måtte til for å hindre belegget i å vokse i tykkelse.



Figur 9. Kapasitet over tid for to moduler (første og siste) i det største anlegget.



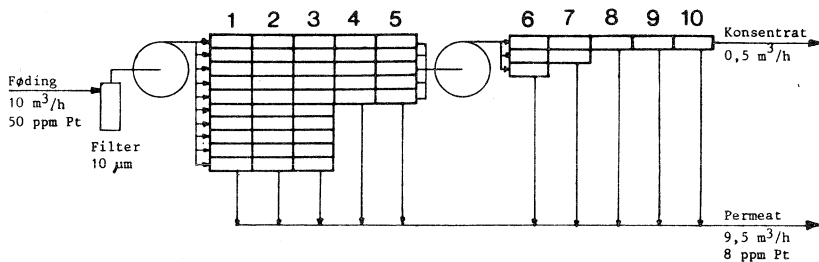


Figur 10.  
Midlere beleggtykkelse over tid.

### EKSEMPEL PA TEKNISKE ANLEGG

Kjennskap til endel individuelle data for kommersielt tilgjengelige enheter er nødvendig for dimensjonering og oppbygging av et teknisk anlegg. Vi har valgt og skissert et mulig anlegg basert på OSMONICS' utstyr. Etter det en vet om renseeffektivitet og fluks er to membraner aktuelle: SEPA-50 og SEPA-0. Disse membranene er kjemisk modifisert for spesielt god motstandskraft overfor fritt klor.

I eksemplet velges å illustrere en situasjon med knapphet på råvann. En velger da 95% gjenvinning. For å gjøre anlegget enklest og rimeligst mulig vil en unngå resirkulasjon. Dette gir nær optimal oppbygging for formålet.



Figur 11. Oppbygging av moduler i anlegget.

Som enhet for modulfabrikat velges PV-554 med et membran areal på 6,9 m<sup>2</sup>. Som membran velges SEPA-0. På grunnlag av data fra leverandøren har vi beregnet et anlegg for 10 m<sup>3</sup>/h ved 10°C tilsvarende 500—1000 personer (200—400 l/pe). Driftstrykket er 7 bar i føding. Anleggets data og oppbyggingen er skissert i figur 10. Med 98% initiell renseggrad for farge fåes ca. 8 mgPt/l i det reneste vann med råvannskvalitet 50 mgPt/l og 95% vanngjenvinning.

Et slikt anlegg vil koste ca. kr. 600 000 fra 1982. Arealbehovet blir ca. 50 m<sup>2</sup> netto og energibehovet ca. 10 kW. total driftskostnad kr. 100 000—150 000 pr. år. Dette gjelder under forutsetning av at anlegget fungerer normalt over lengre tid, hvilket bør undersøkes ved langtidsforsøk. Dersom fallhøyde (trykk) på 50—100 m er disponibelt for drift av anlegget kan kostnaden (investering og energi) reduseres endel ved at fødepumpe elimineres.

### OPPSUMMERING

Til forskjell fra andre metoder for rensing har omvendt osmose den vesentlige fordel at renseeffektiviteten er definert av membran og driftstrykk og at

den er konstant over tid. Rensing og avsalting av brakkvann og saltvann er idag en etablert praksis. Her benyttes membraner som har tilstrekkelig evne til å fjerne salt ned til ønsket restkonsentrasjon.

Når det gjelder det typiske norske bløte humusvann, så har en rekke forsøk påvist at omvendt osmose med hensyn til renseeffektivitet for fargetall og permananattall er fullt ut tilstrekkelig. Ved riktig valg av membran og anlegg kan en oppnå den renseeffektivitet som er nødvendig. Hvor langt effektiviteten skal drives er et økonomisk spørsmål. Renseeffektivitet overfor partikler, virusbakterier og alger over 0,01  $\mu\text{m}$  er 100%. Effektivitet overfor lukt, smak, haloformer og eventuelle andre parametre er ikke tilstrekkelig undersøkt. Oppløste mi-

neraler fjernes med 10—50% effektivitet alt etter kravet til fargefjerning.

Det som kan begrense langtidsstabiliteten er i første rekke beleggdannelse på membranen. Belegg skyldes enten kjemisk belegg (slam, partikler) eller biologisk vekst. Disse forhold kan en sikre seg mot ved tilstrekkelig forbehandling og desinfiserende vask.

For mindre anlegg i industrien burde ikke langtidsstabiliteten være noe problem. Her skulle daglig oppsyn og teknisk vedlikehold være enkelt å få til. For anvendelse i offentlig vannforsyning vil kostnadene kunne være en kritisk faktor, likeledes kvalifisert oppsyn og vedlikehold. Vi antar at eventuelle anlegg vil være helautomatisk bortsett fra et varslingsystem ved feil og ukentlig — månedlig tilberedning av vaskemiddel.