

# Membranfiltrering av humusvann

## -Prinsipp, anlegg og erfaringer

Av Thor Thorsen

Thor Thorsen er forsker ved SINTEF

Innlegg på fagtreff i Norsk Vannforening 28. august 1995

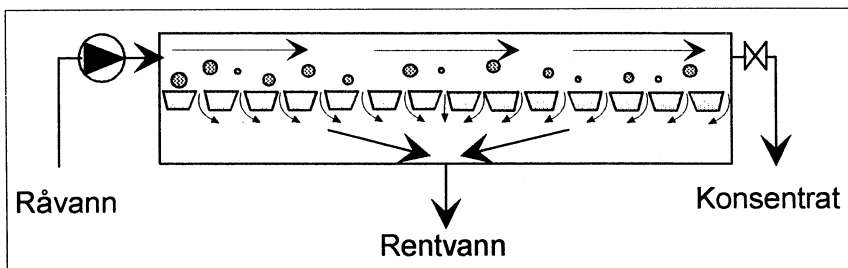
**Det tok 10 år fra den spede begynnel-  
se i et dr.ing. studium ved NTH, til  
det første fullskalaanlegg for mem-  
branrensing av humusholdig drik-  
kevann ble startet i 1989. Ved årsskif-  
tet 1995/96 vil trolig ca. 25 anlegg  
være i drift.**

Membranfiltrering kan forenklet sees som en utvidelse av mikrosiling nedover til filteråpninger mindre enn 0.005 mm. Ut over de svært små filteråpningene (membranporene), er det et kjennetegn ved metoden at tilført vann strømmer langs filtermembranen og spyler denne samtidig som det filteres gjennom membranen. Som det fremgår av figur 1 holdes partikulært og

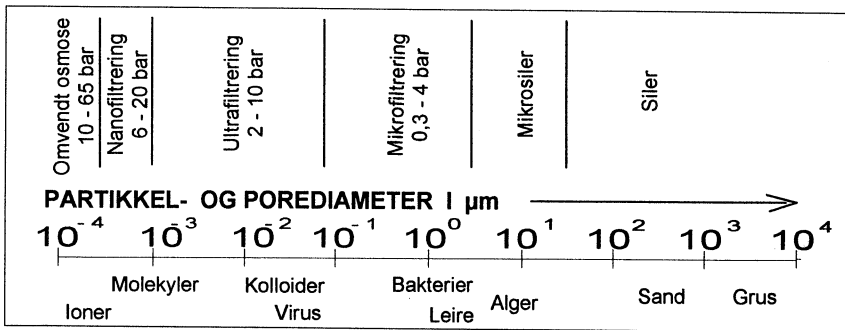
oppløst materiale tilbake på konsentratsiden av membranen mens vannet presses gjennom og forlater anlegget på permeatsiden. Det fraskilte materialet skylles ut på konsentratsiden.

Figuren viser at porene er smalest mot konsentratsiden. Det hindrer fraskilt materiale i å kile seg fast. Aktuelle porediametre varierer fra 0.0003 til 10  $\mu\text{m}$  ( $\mu\text{m} = 1/1000 \text{ mm}$ ). Stort sett fjernes alle "partikler" som er større enn poreåpningen. For de tetteste membranene spiller kjemiske forhold en viss rolle. Ulike poreåpninger gir ulik renseeffekt, driftstrykk og kostnad. Figur 2 definerer ulike metoder i forhold til partikkelstørrelse.

Selve membranen lages vanligvis av ulike typer plast som polyamid (nylon), celluloseacetat og polysulfon. Det finnes også membraner av keramer, glass



Figur 1. Prinsippsskisse av membranfiltrering (tverrstrømsfiltrering).



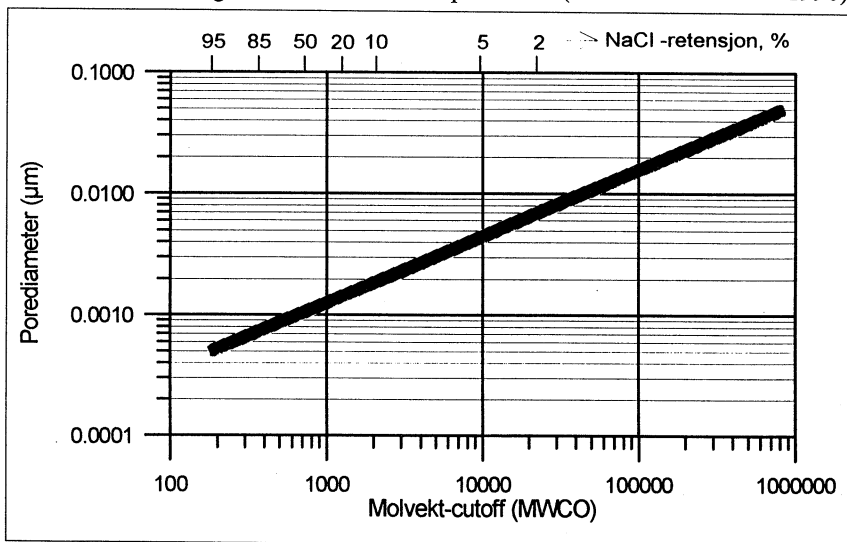
Figur 2. Partikkelstørrelser og filtreringsprinsipp med angivelse av vanlig driftstrykk.

og metall. Men plast er godt egnet for drikkevann, ikke minst på grunn av lavere pris. For å utnytte dyrere materialer til realistisk kostnad, må kapasiteten pr m<sup>2</sup> membran være meget høy, og det er vanskelig å oppnå over lang tid for humusvann.

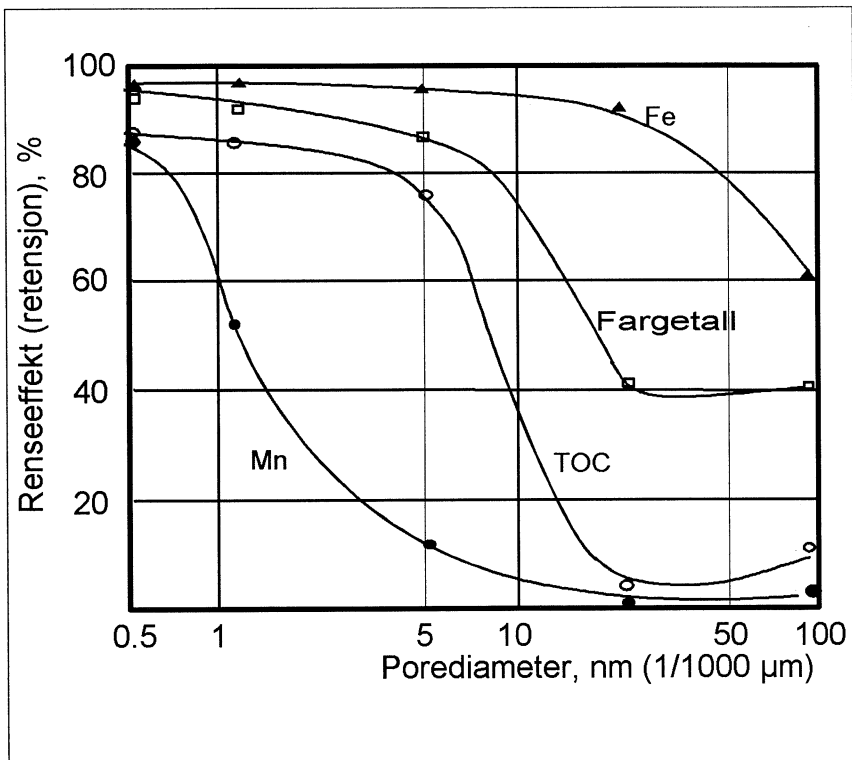
### Renseeffekt.

Dersom en skal angi en membrans renseseffekt, er det viktig at den kan define-

res mot en enhetlig skala. Membraner spesifiseres gjerne med molvektcuttoff, forkortet MWCO, og retensjon av NaCl. Figur 3 angir denne sammenhengen. (fabrikantenes data er ikke alltid sammenlignbare). Med en membran med en gitt MWCO fjernes 90% av molekylene med denne molekylvekt. Det er gjort undersøkelser over membraners renseseffekt for ulike råvannsparemetre (Folkehelsa/SINTEF 1990).



Figur 3. Forholdet mellom MWCO og filteråpning



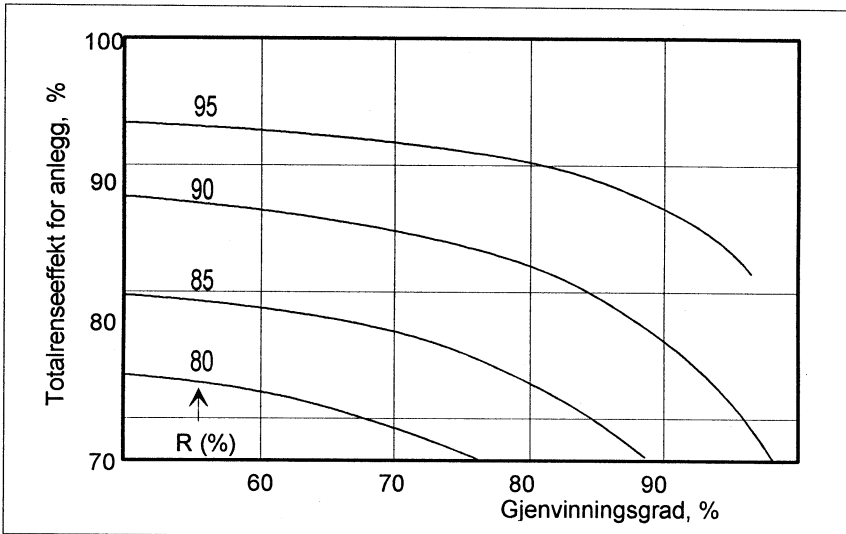
Figur 4. Renseeffekt for ulike parametre

Poreåpning ble brukt som karakteristikk. Figur 4 viser at poreåpningen må være mindre enn  $0.003 \mu\text{m}$  for å sikre høy renseseffekt for farge og TOC. Ved større poreåpninger får vi lav og varierende renseseffekt, men ikke slik at større porer gir entydig lavere verdier. Dette må sees på bakgrunn av kompliserte forhold som innvirker på separasjonen av kolloider. Både TOC og farge er gruppeparametre som omfatter en rekke stoffer med hensyn til kjemisk natur og molekylvekt. Vi må derfor vente en gradvis reduksjon av renseseffekten ved økende porediameter.

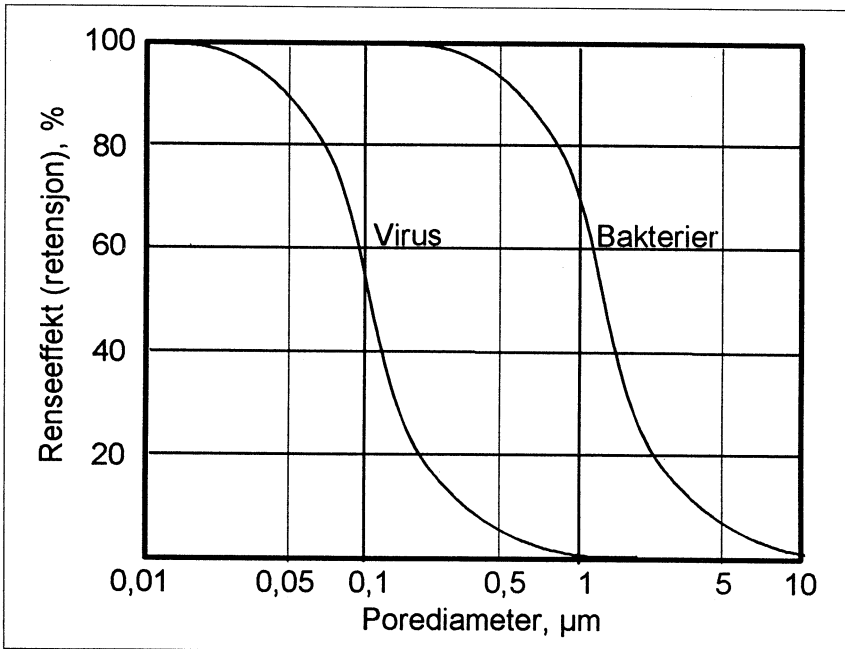
Jern har lav løselighet på grunn av hydroksiddannelse og binding til humus og danner lett kolloider. Mangan har høyere løselighet. En membran med porediameter  $0.002 \mu\text{m}$  vil således ha ca. 80% renseseffekt for jern og 20-30% for mangan. Forskjellen mellom jern og mangan illustrerer ulikhetene i renseseffekt mellom et kolloid og et oppløst stoff.

### Gjenvinning

For membranteknikk er det vanlig å operere med "øyeblikkelig" renseseffekt på konsentrasjonsbasis. Den totale ren-



Figur 5. Renseeffektivitet ved økende gjenvinningsgrad og øyeblikkelig renseeffektivitet.



Figur 6. Renseeffekt for bakterier og virus

seffekt er basert på forholdet mellom kvaliteten på samlet permeat og råvann. Gjenvinningsgrad er mengdeforholdet mellom samlet permeat og råvann. Humus er en blanding av store og små molekyler. De minste molekylerne vil lettest passere membranen. Ved høy gjenvinning vil andelen store molekyler øke slik at anleggets renseeffekt holder seg relativt godt selv ved høy gjenvinningsgrad. Nettoeffekten på den totale renseeffekt er vist i figur 5.

I fullskalaanlegg vil normalt noe av konsentratet resirkuleres til føding. Membranene vil da tilføres en blanding av råvann og konsentrat. Det har samme effekt på total renseeffekt som økt gjenvinning.

## Fjerning av bakterier og virus

I figur 6 gjengis en grafisk framstilling av renseeffekt for bakterier og virus (Folkehelse/SINTEF 1990). Både virus og bakterier fjernes ved absolutt filtrering etter størrelse. Fra figuren ser vi at membraner med porer mindre enn 0.01  $\mu\text{m}$  gir effektiv separasjon av smitte-stoffer, inklusive virus. Ved bruk av 0.002  $\mu\text{m}$  porer er marginen god.

## Anlegg

En membranmodul er et visst areal av aktivt filtrerende membran montert i en hydraulisk enhet inneholdende de nødvendige kanaler for tilførsel av vann (føding), utløp av konsentrat samt rensset vann (permeat). Selve membranen produseres primært i form av hule fiber, rør eller som metervare i 1 eller 1.5 m bredde. En generell oversikt over egen-

skaper ved de ulike modultypene er gitt i tabell 1. Membranlevetiden er en viktig økonomisk faktor. Forhold som begrenser levetiden er blant annet:

1. Beleggdannelse som ikke kan fjernes
2. Mekanisk ødeleggende pga. høyt trykk, trykkfall eller tilbaketrykk
3. Bakteriell nedbrytning
4. Kjemisk nedbrytning ved drift og/eller vask

Optimal drift forutsetter at tre driftsvariable styres:

1. Driftstrykket bestemmer fluks, og til en viss grad retensjon av stoff.
2. Fluksen skal ikke være så høy at beleggdannelse tar overhånd.
3. Vannstrømmen langs membranen hindrer beleggdannelse, men må ikke være så høy at membranen ødelegges eller energiforbruket blir unødig høyt.

Økende driftstrykk gir tilnærmet lineært økende fluks. Over en viss fluks tar belegget overhånd og ytterligere trykkøkning gir ingen økning. Ved høye trykk kan sågar fluksen falle ved økende trykk. Belegg av humus på membranen (fouling) er det viktigste problem ved metoden. Effekten av dette er ned-satt kapasitet. Problemene oppstår for alvor etter 500 - 1000 driftstimer og vil derfor ikke oppdages etter noen dagers prøving.

Valg av modultype bør gjøres med hensyn til pris og lav tendens til beleggdannelse. Det har vist seg at spiralmoduler er et godt kompromiss. Disse har også standardiserte mål, slik at en kan velge mellom flere leverandører. Standard spiralmembraner er 8" i diameter og 40 eller 60" lange. Dersom begge lengder skal kunne brukes, må hvert

**Tabell 1. Ulike modultypers egenskaper.**

Modul	Fordeler	Ulemper
Plate-ramme	Tåler noe partikler og slam Lite krav til forbehandling Lett å finne membranbrudd	Tar stor plass, komplisert Tungvint å skifte membran Høy pris og vekt
Rør	Lite følsom for partikler og slam Lett å rense og sterilisere Forholdsvis lett å skifte membran	Stort plassbehov, høy pris Stort væskevolum i modulen Begrenset utvalg av membraner
Fiber	Lett å skifte membran Lavt plassbehov Lite væskevolum i modulen Godt strømningsbilde (grovfiber)	Vanskelig å desinfisere Fine fibre følsom belegg Enkelte typer er kostbare
Spiral	Lite plasskrevende Lav vekt, lav pris Lett å skifte membran (rull) Lite væskevolum i modulen	Dødvolum, bakteriologisk uheldig Noe følsom for slam/belegg Krever vanligvis forhandlinger Vanskelig å desinfisere

trykkrør inneholde 3 eller 6 membraner (ca. 3 eller 6 meter). Erfaring viser at hydrofile membraner gir minst belegg. Celluloseacetat og polyamid er eksempler på slike membraner.

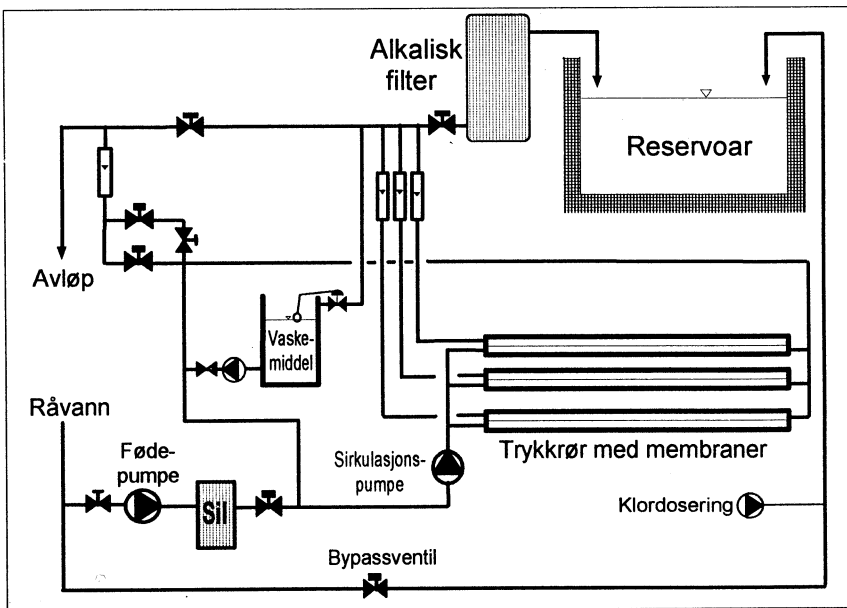
For å begrense belegg og gjengroing av membranmodulen, bør det benyttes et forfilter. Som minimum anbefales et patron- eller silfilter med poreåpning ca. 50 µm. Forsøk (SINTEF 1991) viser at et enkelt hurtigsandfilter ikke gir effektiv beskyttelse alene.

Da membranlegg fjerner noe av mineralene, anbefales at det settes et alkaliseringsstrinn etter anlegget. Humusvann er oftest bløtt og surt. Derfor vil en slik etterbehandling gi en god totalbehandling. For noen anlegg vil et enkelt kalksteinsfilter gi en rimelig og enkel løsning. For større anlegg er det aktuelt å tilsette CO<sub>2</sub> for å øke oppløs-

ningen av kalkstein. Det er nødvendig for fullt ut å tilfredsstille normene for god korrosjonsbeskyttelse.

Membranvask og desinfeksjon gjøres ved at anlegget taes ut av produksjon, fortrinnsvis på nattetid. Derfor bør det være et rentvannsreservoar på minst 6 timers forbruk nedstrøms renseanlegget. Det er også ønskelig fordi membranlegg har konstant timekapasitet og ikke alltid kan forventes å klare toppforbruket på dagtid. Dette er imidlertid et dimensjonerings spørsmål. Figur 7 viser et eksempel på oppbygning av anlegg basert på 3 trykkrør (modulbeholdere).

Membranenes kapasitet bør ikke presses. Fluksverdier over 20 l/m<sup>2</sup> time vil lett gi belegg på membranen. Man bør ikke drive anlegget med permanent belegg av betydelig tykkelse. Belegget vil



Figur 7. Forenklet flytskjema for typisk anlegg.

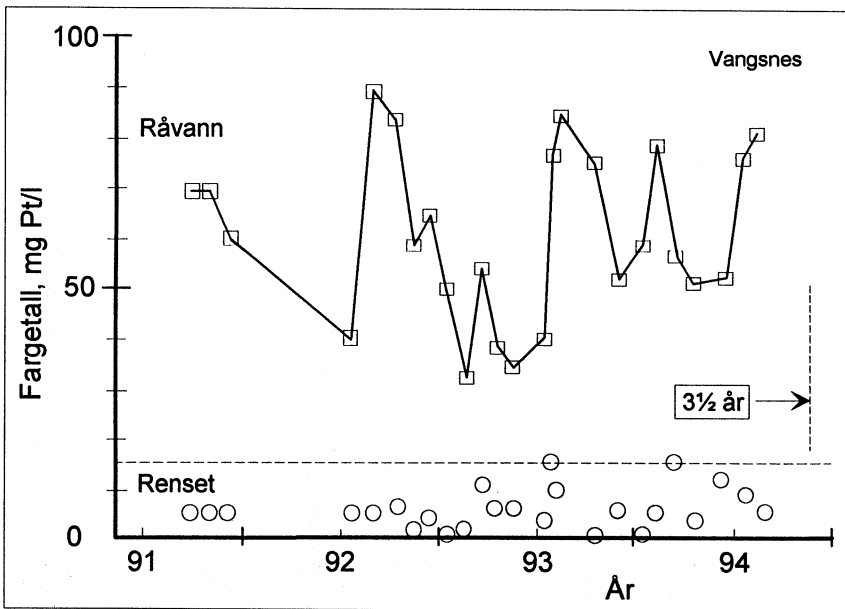
da bli tettere og tettere og stadig vanskeligere å kontrollere.

Kravet til bygninger er små. Minste areal for 200 m<sup>3</sup>/dag er ca. 30 m<sup>2</sup> flatt gulv (ca. 50 m<sup>2</sup> for 1000 m<sup>3</sup>/dag). Av praktiske hensyn er det ønskelig med skrivebord, våtbenk og litt lagerplass for smådeler. Da det ikke inngår kjemiske kontroller, sensorkalibrering og lignende, er behovet til arbeidsplass beskjedent og ikke ulikt det som er vanlig for et kloreringsanlegg.

Ved årsskiftet 1995/96 vil det være ca. 25 fullskala anlegg i drift for drikkevannrensing for humusvann. Det antas at et mindre antall anlegg for rentvannsproduksjon er i drift for andre råvannstyper enn humusvann, spesielt for avsalting av sjøvann. SINTEF har foretatt en kort rundspørring hos eierne av anleg-

gene for å klarlegge hovedtrekk i erfaringene. Trolle vannverk er spesielt fordi det var et prøveanlegg. Erfaringene herfra er generelt meget gode, tatt i betraktning at det er et prøveanlegg. For de øvrige 13 anlegg (des. 1994) fikk vi disse tilbakemeldingene:

- Alle er fornøyde med oppfølgingen fra leverandøren.
- Halvparten melder om "ingen eller ingen vesentlige" driftsproblemer. Av de øvrige seks har fem for kort driftstid til å kunne si noe sikkert. En har hatt vesentlige problemer med selve membranene.
- Det er ikke noe entydig svar med hensyn til kostnad, både billigere og dyrere enn alternative rensemetoder nevnes.
- Det er ønskelig med serviceavtale med leverandør.



Figur 8. Fargetall for råvann og rentvann ved Vangsnes vannverk, (ISIS 1994)

- De fleste framhever stabil drift, enkel betjening og god vannkvalitet som metodens største fortrinn. Ingen angret valg av rensemetode.

Som illustrasjon av tidsforløpet for renseseffekten i anlegg i full skala, er det naturlig å velge fargetall som parameter. Figur 8 viser forløpet for fargetall i råvann og rensset vann over 3 års driftstid for Vangsnes vannverk. Her er råvannsfargen forbundet med linjer, mens rentvannsfargen kun er angitt med punktverdier.

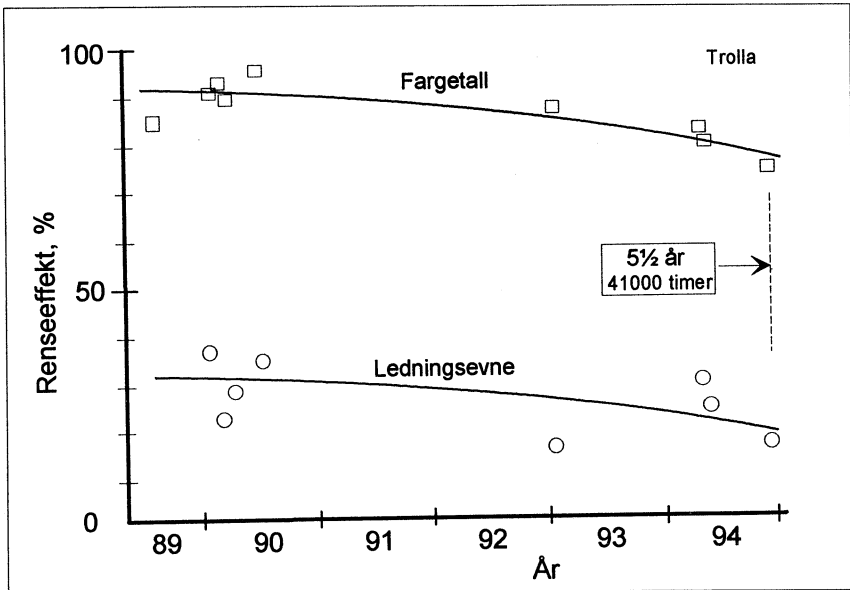
Figuren illustrerer de store variasjoner som forekommer over tid for fargetall i råvann. Vi ser likevel at rentvannsfargen holder seg hovedsaklig under 10, unntatt for noen få prøver. Analyse av prøver med lavt fargetall er forbundet med en viss usikkerhet. Derfor bør

avvikende verdier vurderes med forbehold. Figuren viser at det ikke er noen signifikant reduksjon i renseseffekten.

Trolla vannverk har lengre driftstid. Dette anlegget har vært et prøveanlegg og membranene her har vært utsatt for betydelig sterkere påvirkning av vaske- og desinfeksjons-kjemikalier samt også bakterievekst (i 1990), enn de øvrige full-skalaanleggene. Figur 9 viser utviklingen av renseseffekt for fargetall og ledningsevne over 5 års driftstid. Verdiene gjelder i dette tilfellet ett membransett (trykkør) i anlegget.

Investeringen vil variere avhengig av konkurransesituasjonen, membranpriser og anleggsutførelse. Prisene i figur 10 gjelder for komplett membranlegg eksklusive bygg, ytterligere desinfeksjon og eventuell alkalisering. Figu-





Figur 9. Renseeffekt for fargetall og ledningsevne i Trolla vannverk.

ren angir også årlige driftskostnader og investering som funksjon av anleggets kapasitet. Eksempler på kostnader for virkelige anlegg er avmerket som symboler i figuren.

### Framtidsutsiker

Det er overveiende sannsynlig at vi nå ser en økning i utbygningstakten for membranlegg, som skyldes gode erfaringer med de første anleggene. Dersom denne utvikling fortsetter, er det ikke usannsynlig at rensemetoden kan bli den mest valgte metode for vannverk opp til 10 000 p.e. i løpet av kort tid.

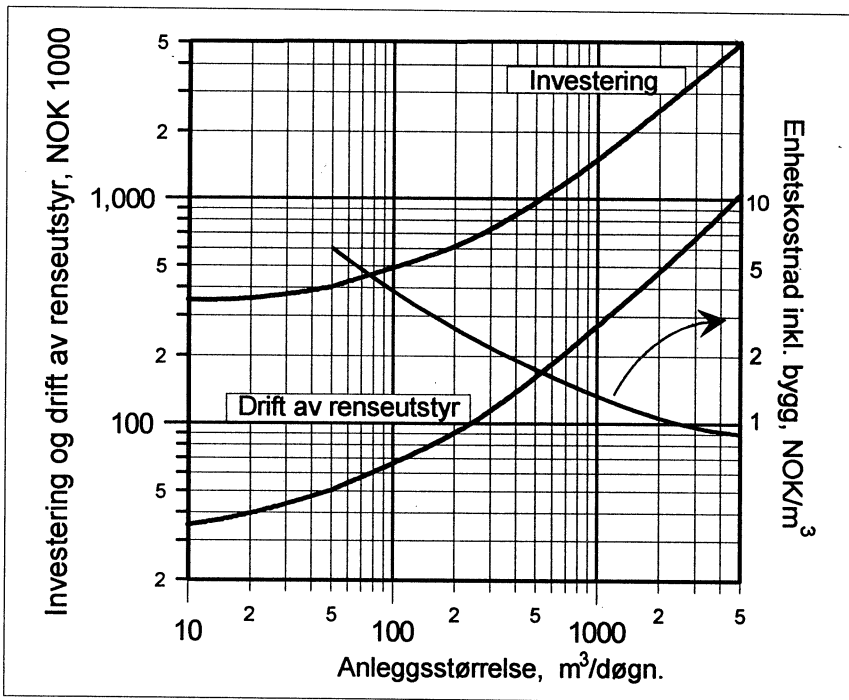
De proporsjonale kostnadene (membraner, energi og kjemikalier) utgjør 45-65 øre pr. m<sup>3</sup> rensset vann. Dette er i størrelsesorden 10% av vannets salgsverdi. Driftskostnadene skulle derfor

ikke være til avgjørende hinder for bruk av membranteknikk i større anlegg. Større bemanningsbehov for alternative metoder kan gjøre anleggene direkte konkurransedyktige også for store anlegg. Det må også forventes at bedre utnyttelse av membranenes kapasitet vil kunne gi kostnadsreduksjon.

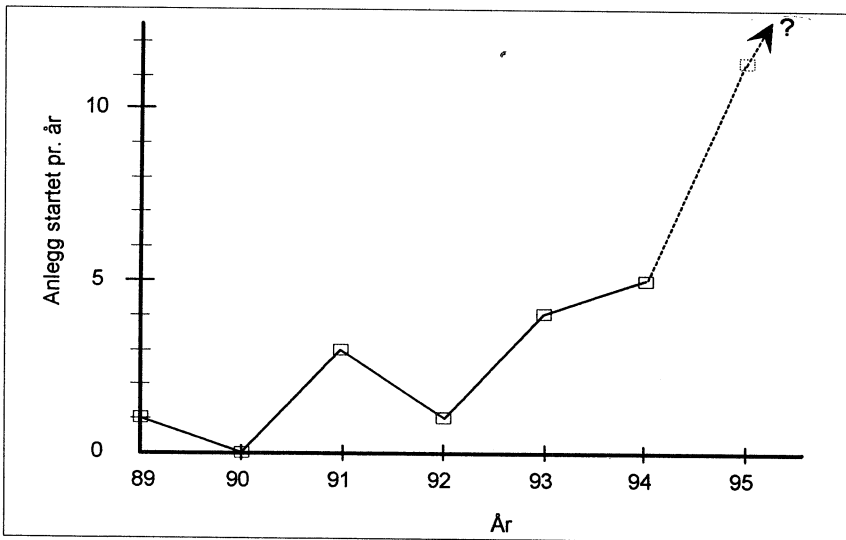
Det er påvist at membranteknikk kan være fordelaktig med hensyn til

1. Driftsstabilitet og bemanning
2. Rentvannskvalitet
3. Avfallssituasjonen

Disse brukererfaringene kunne bidra til at membranteknikken foretrekkes fremfor alternative metoder selvom den hadde vært litt dyrere. Kostnadene er imidlertid ikke vesentlig forskjellig fra alternativene, noen mener lavere, noen høyere (små og middelstore anlegg).



Figur 10. Investering og årskostnad ekskl. bygg



Figur 11. Utbyggingstakt for membranlegg.

Trondheim Kommune har bidratt til praktiske erfaringer fra fullskaladrift ved å ta i bruk det første anlegget. En leverandør, ECS Fluidtec, har stått for leveranse av de fleste anleggene som er i drift, og har derved gjort en pionerinn-sats for introduksjon av metoden i praktisk bruk. En kontaktrunde har imidlertid vist at totalt ca. 10 leverandører vil tilby anlegg i 1995. Av disse har tre levert anlegg tidligere. De øvrige har ikke hatt slike leveranser. Flere av dem sier forsøksvirksomhet er i gang eller planlagt. Figur 11 viser utbyggingstakten for membranlegg.

Litt av den brede utvidelsesmulig-heten for membraner i drikkevannsbe-handling er skissert i tabell 2. For sam-menligningens skyld er renseeffekt og anleggsparametre for fire typer anlegg

angitt. Membrantype og driftstrykk er de viktigste ulikheter. For humusanlegg legges hovedvekt på humusfjem-ning. Avsaltiesanlegg benytter svært tette membraner for å fjerne salter.

Som en oppsummering må det antas at teknikken er kommet for å bli og trolig vil den øke sin andel av markedet i betydelig grad i framtiden. Kostnade-ne er ikke vesentlig forskjellig fra alter-nativene, noen mener lavere, noen høy-ere (små og middelstore anlegg). Det bør også nevnes at det fulle kapasitets-potensialet for membranene ikke kan frigjøres for de rimeligste membraene med dagens kunnskaper. En kapasitets-økning på 50% er ikke utenkelig i fram-tiden. Dette vil i så fall øke konkurran-seevnen vesentlig.

**Tabell 2.**  
**Renseeffekt for fire typer vannrenseanlegg (200-1000 m<sup>3</sup>/d)**

Parameter	Råvannstype			
	Avsaltyng av sjøvann	Høy farge (>35)	Middels farge (20-35)	Bakt./susp.st. (farge <20)
Anlegg:				
- Driftstrykk	50-65 bar	4-8 bar	2-5 bar	0.5-2 bar
- Membranporer	0.0004 µm	0.0015 µm	0 003 µm	0.01-0.2 µm
-Totalkost kr/m <sup>3</sup>	10-15	1.50-2.50	1-1.5	0.50-1.00
Renseeffekt:				
- Farge	95%	90%	70%	ca. 20%
- Susp.stoff	100%	100%	100%	>90%
- Bakterier	100%	100%	100%	>99%
- Salter	99%	30%	10%	0%
- Virus (antatt)	100%	100%	>99%	ca. 70%