

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



# Membranfiltrering

---

## Forord

Jeg har studert ved UMB i 6 år og har brukt mye tid på fiskefjøset. Fiskefjøset er et lite oppdrettsanlegg som ikke produserer fisk for salg, men utelukkende driver med forsøksarbeid i form av avl, ernæring og akvakulturteknikk. Per dags dato brukes det kun kommunalt vann, og med et vannforbruk opp mot 50 m<sup>3</sup> i døgnet blir kostnadene for å drifte anlegge høye. Jeg ble spurt om jeg kunne tenke meg og skrive en masteroppgave med utgangspunkt i løsninger for Fiskefjøset. Her skulle jeg se om det var mulig og enten rense vann fra Årungen for bruk i Fiskefjøset, behandle avløpsvannet så det er mulighet å få utslippstillatelse til annet enn kommunalt avløp, eller se om det var muligheter for å kjøre deler eller alt i retur til fisken. Grunnen til at Årungen ble valgt som kilde er beliggenhet og at det allerede eksisterer en vannledning til Fiskefjøset. Dette forenkler prosessen hvis det skulle vise seg at dette er en løsning.

Jeg ville se om det var muligheter for å få til noen av disse løsningene med hjelp av membranfiltrering. På skolen har vi et membranfilter fra Martin Systems AG og med hovedtyngde på dette membranfilteret skulle jeg se om det var mulig å få til noen av disse løsningene. Dette er et lite filter som ikke har kapasitet på mer en 0,6 m<sup>3</sup> i døgnet så forsøkene blir i miniatyrskala i forhold til selve anlegget. Jeg vil også se på andre leverandører av membranfiltre og hva slags løsninger disse kan komme med og eventuelt hvor dyrt dette blir.

Vil takke Bjørn Frode Eriksen og Odd Ivar Lekang for god veiledning og støtte under skrivningen av oppgaven. Vil takke Jon Asper, Bjørn Reidar Hansen og Harald Støkken for hjelp til å gjennomføre forsøkene med renseanlegget. Arve Heistad som stilte renseanlegget til disposisjon.

# Membranfiltrering

---

## 0. Abstract

Fiskefjøset at University of Life Science, Fiskefjøset is a small fish farm, it only farms fish for experimental purposes. They wanted to look at for water treatment on the inlet water or find a solution where they can recycle the water. We were interested in looking at solutions with a membrane filter. First part of the assignment describes membrane filtration, construction and how the most common ones work. What they remove, water flow over the filter and the pressure the filters run on. The second part is on the waste water treatment plant "siClaro" delivered by Martin Systems. In this waste water treatment plant there is a membrane filter. It is the effect of this filter we wanted to find out. The trials were done on this filter on water from Årungen which is the best source for water for Fiskefjøset. The analyses were done on total dissolved nitrogen, total dissolved phosphorus, suspended solids, turbidity, chemical oxygen demand and biological oxygen demand. The nitrogen analyses were below measurement limits for the instrument. Phosphorus analyses showed an average reduction from 0,07 mg/l to 0,03 mg/l after filtration. Analyses for suspended solids had a reduction of 100 %, this indicates that there is no leakage around the filter. Turbidity had an average reduction from 2,00 NTU – 0,08 NTU after filtration. Chemical oxygen demand had an average reduction from 30 mg/l – 11 mg/l after filtration. Biological oxygen demand had an average reduction from 4,3 mg/l – 1,7 mg/l. Both chemical- and biological- oxygen demand had almost the same average reduction in percentage. The membrane filter worked as it should, it has low water consumption because it is a submerged filter, but it is the best solution for Fiskefjøset because it has a low capacity and it should be higher purification factor.

## 0. Sammendrag

Fiskefjøset på Universitetet for Miljø- og Biovitenskap, som er et lite oppdrettsanlegg som produserer fisk kun til forsøkssammenheng. Ønsket å se på løsninger for vannbehandling på inntaksvannet, avløpsvannet eller en løsning hvor man resirkulerer alt vann. I denne forbindelse var det interessant å se på løsninger hvor man benytter membranfiltrering. I første del av oppgaven blir oppbygning og virkemåte til de vanligste membranfiltrene forklart. Hva de fjerner, trykket de jobber på og vannflyten over de forskjellige filtrene. Den andre delen av oppgaven går direkte på renseanlegget "siClaro", som er levert av Martin Systems. I dette renseanlegget er det et membranfilter, det var effekten av dette filteret man ønsket og finne ut. Prøvene som ble gjennomført på dette filteret ble gjennomført med vann fra Årungen, som er den mest aktuelle vannkilde for Fiskefjøset. Det ble gjort analyser av totalt oppløst nitrogen, totalt oppløst fosfor, suspenderte stoffer, turbiditet, kjemisk oksygenforbruk og biologisk oksygenforbruk. Nitrogenanalysene var under grenseverdien for måleinstrumentet. For fosfor viste analysene av filteret klarte å gi en gjennomsnittelig reduksjon fra 0,07 mg/l til 0,03mg/l etter filtrering. Analysene for suspenderte stoffer viste 100 % reduksjon etter filtrering og dette indikerer at det ikke er noen lekkasjer i filteret. Turbiditeten gikk gjennomsnittelig ned fra 2,00 NTU til 0,08 NTU. Kjemisk oksygenforbruk ble gjennomsnittelig satt ned fra 30 mg/l – 11mg/l til etter filtrering. Biologiske oksygenforbruket ble gjennomsnittelig satt ned fra 4,3 mg/l – 1,7 mg/l. Både kjemisk- og biologisk- oksygenforbruk viste relativt lik prosentvis nedgang. Membranfilteret fungerer slik det er ønsket, det er lite vannforbruk siden det er nedsenkbar filterenhet, men det er ikke beste løsning for Fiskefjøset siden den har for dårlig kapasitet og det er ønskelig med en høyere rensegrad.

# Membranfiltrering

---

## Innhold

1. Innledning.....	6
2. Litteraturstudie av eksisterende membranfiltreringsprosesser .....	7
2. 1 Membranfiltrering .....	7
2. 1. 1 Bakgrunn for økt membranfiltrering de senere år .....	7
2. 1. 2 Prinsipper og definisjoner av membranfiltrering .....	8
2. 1. 3 Materialer i forskjellige membranfilter .....	10
2. 1. 4 Største problemene rundt membranfiltrering .....	11
2. 2 Klassifisering av membranfiltreringsprosesser .....	12
2. 2. 1 Porestørrelser.....	12
2. 2. 2 Arbeidstrykk.....	14
2. 2. 3 Flow-mønster over membranen .....	14
2. 2. 4 Modell design cross-flow .....	19
2. 2. 5 Modell design ”dead-end” .....	23
2. 3 Tidligere forsøk utført på renseanlegget siClaro.....	24
3. Materiale og Metoder .....	24
3. 1 Forsøksbetingelser.....	24
3. 1. 1 Beskrivelse av renseanlegget siClaro .....	24
3. 1. 2 Prosess beskrivelse for renseanlegget .....	24

# Membranfiltrering

---

3. 1. 3 Fasiliteter og rammene rundt forsøket.....	26
3. 2 Forsøksplan og forsøksopplegg.....	28
3. 3 Registrering og databehandling.....	29
3. 3. 1 Målemetodene .....	30
4. Resultater.....	35
5. Diskusjon.....	38
5. 1 Diskusjon av forsøksoppsettet.....	38
5. 2 Diskusjon av forsøksresultatene .....	39
5. 3 Hva kan gjøres videre.....	41
5. 4 Diskusjon angående videre arbeid for Fiskefjøset .....	43
6. Konklusjon .....	45
7. Referanseliste .....	46
7. 1 Internet referanser .....	47

## 1. Innledning

Membranfiltrering som rensemetode for drikkevann og avløpsvann fra husholdninger har vist en økende tendens de siste år. Mye av grunnen til denne økningen er mikrobiologisk oppblomstring i og rundt våre drikkevannskilder, i tillegg til EUs vanddirektiv.

Vanddirektivet ble gjeldene for alle EU-land 22. desember 2000, og for alle EØS-land i løpet av 2008. I korte trekk går dette direktivet ut på at EU- og EØS-land skal strebe mot et mål om å få alle sjøer, elver, innsjøer, tjern og grunnvann i god miljømessig stand, med tanke på både kjemiske og biologiske forhold. Kommunene har på grunn av dette satt høyere krav til kvaliteten på avløpsvann fra husholdninger og industri enn det som var normalt tidligere.

Membranfiltrering kan effektivt fjerne partikler, kolloider, organisk materiale, mikroorganismer, salter og redusere hardheten på vannet. I drikkevannssammenheng brukes membranfiltrering til rensing av drikkevannet, eller for å fjerne humus.

Kapitlet om membranfiltrering gir en generell gjennomgang av de vanligste membranbaserte filtertypene med fokus på oppbygging og virkemåte.

Renseanlegget ”siClaro Small Sewage Treatment Plant for 4 persons” beskrives på en detaljert måte, noen tidligere utførte forsøk med dette anlegget er gjengitt.

Bakgrunnen for masteroppgaven er at man på Fiskefjøset ved Universitetet for Miljø og Biovitenskap vurderer å endre vannbehandlingsprosedyrene. Man ønsker å utrede muligheten for å kunne bruke vann fra Årungen, eller gjennom effektiv rensing få utslippstillatelse til et alternativ til kommunalt avløp. Per i dag bruker Fiskefjøset ca. 50 m<sup>3</sup> vann i døgnet, og mesteparten av dette vannet kommer fra, og slippes til, det kommunale nettverket. Dette vannvolumet må det pr. i dag betales full vannavgift for. For Fiskelaboratoriet utgjør dette en vesentlig post i størrelsesorden kr 500 000,- pr år. Det ønskes derfor å se om det er mulig å komme frem til løsninger med membranfiltrering for inntaket eller avløpet. Alternativt om det er muligheter for resirkulering i sammenheng med et membranfilter.

## 2. Litteraturstudie av eksisterende membranfiltreringsprosesser

### 2. 1 Membranfiltrering

#### 2. 1. 1 Bakgrunn for økt membranfiltrering de senere år

I løpet av de siste 10 år har bruken av membranteknologi økt betraktelig på flere områder. Kjemisk industri, medisinsk teknologi, bioteknologi, behandling av drikkevann og rensing av avløpsvann er eksempler på dette. (Jermann et al. 2007; Wiesmann et al. 2007).

##### **Drikkevann**

Det er innenfor rensing av drikkevann hvor vi kan se den største økningen. Her blir membranfiltre brukt til rensing av vann fra elver, vannreservoar og innsjøer, som et ledd i prosessen mot å tilfredsstille Mattilsynets krav til drikkevann (Laine et al. 2000) (Drikkevannsforskriften FOR 2001-12-04 nr 1372). Innenfor omdanning av saltvann til drikkevann har bruken av membranfiltrering også økt de siste årene (Koseoglu et al. 2008). Grunnen til denne økningen på drikkevannssiden er at det i, og nær, drikkevannskilder har blitt en mikrobiologisk oppblomstring (Laine et al. 2000).

Drikkevannsrensing i Norge krever to smittebarrierer. Membranfiltre med en porstørrelse på 10 nm mindre er i denne sammenhengen godkjent som smittebarriere. I andre sammenhenger blir membranfilteret kun brukt som humusfjerner. Filteret regnes da normalt ikke som en smittebarriere. (TKM 24. August 2009) (Drikkevannsforskriften FOR 2001-12-04 nr 1372).

##### **Avløpsvann**

Grunnen til denne økte bruken av membranfiltre på avløpsvann er at myndighetene har gitt strengere krav til utslipp av avløpsvann (Laine et al. 2000). Dette har direkte sammenheng med EUs vanndirektiv. (EUs vanndirektiv (2000)). Når myndighetene setter opp kravene må boenheter, som ikke er tilknyttet de kommunale nettverkene, finne løsninger som gjør at de holder seg innenfor de kravene de er pålagt. Dette har resultert i flere typer minirensesanlegg, og noen av disse er helt, eller delvis, basert på membranfiltrering.

Membranfiltrering har de siste årene begynt å utkonkurrere de tradisjonelle vannbehandlingsmetodene for drikkevann og avløpsvann. De vanligste metodene for



# Membranfiltrering

---

behandling av drikkevann har vært å tilsette et flokkuleringsmiddel, føre vannet gjennom et sedimenteringskammer, tilsette klor eller en annen form for bakteriedrepende kjemikali eller ozon (United States Environmental Protection Agency et al. 2000). Det er også brukt ulike type filtrering, sandfilter og kullfilter, sammen med UV-lys eller klorbehandling. UV og klor brukes til å drepe de bakterier og virus som måtte klare å komme gjennom filteret (Corfitzen 2006). Ozon og UV blir også brukt til vannbehandling innenfor akvakultur, både til rensing av inntaksvann og avløpsvann (Brown & Russo 1979) (Summerfelt 2003). Vanligste form for rensing av avløpsvann i stor skala i dag er med flokkulering og sedimentering. Dette vil føre til at vi får et tilnærmet rent vann, mens det sedimenterte slammet blir samlet opp, tørket, og eventuelt spredt ut som gjødsel i jordbruksområder hvis innholdet av tungmetaller og andre potensielt giftige stoffer ikke er for høyt.

Grunnen til at membranfiltrering har begynt å utkonkurrere de tradisjonelle vannbehandlingsmetodene, er et resultat av at de gamle metodene ikke er tilfredsstillende nok. Det har vist seg at parasitter som *Giardia lamblia*<sup>i</sup> og *cryptosporidium*<sup>ii</sup> fortsatt kan være igjen i det rensede vannet. Årsaken til at *giardia mabila* kan være igjen i vannet er fordi den ikke blir drept av klor. (Betancourt & Rose 2004). Membranfiltreringsanlegg har også fått en høyere kapasitet og er blitt billigere å produsere. Noe av grunnen til dette kan være EUs vanddirektiv, som setter høyere krav til vannkvalitet både på drikkevannet og avløpsvannet. Når produsenter av membranfiltre ser at de kan få økt salg, er de også villige til å investere og forbedre sine produkter. Med økt konkurranse blir membranfiltrene også billigere.

## 2. 1. 2 Prinsipper og definisjoner av membranfiltrering

En membran blir i denne oppgaven definert som en selektiv barriere av et syntetisk materiale som oftest består av polymer<sup>iii</sup>. Membranen skal enten brukes innen industrielle eller laboratoriske prosesser til behandling av forurenset vann (Zeman et al. 1996).

I dag skilles det på to typer membraner, porøs – og ikke porøs membran. Dette henspiller til hvilket materiale som blir brukt i membranen, og hva den klarer å filtrere (Mulder, M., 1996).

# Membranfiltrering

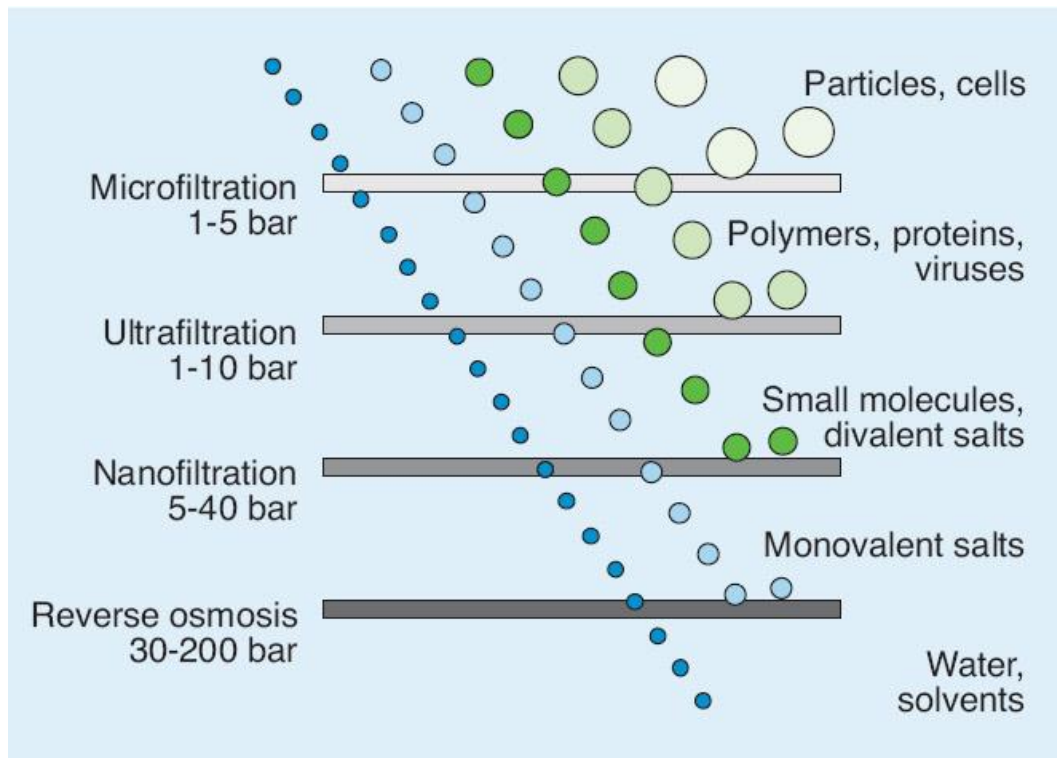
---

Porøs membran brukes i all hovedsak til å rense vann for partikler og ulike kjemiske stoffer, mens ikke porøse membraner brukes til gasseparasjon. Alle membraner som blir omtalt i denne oppgaven er av typen porøse membraner.

Prinsippet med membranfiltrering er at væske fra, for eksempel avløpsvann fra en husstand, enten blir sugd eller presset gjennom en membran. Sitat ”Membraner er semipermeable strukturer som slipper et eller flere stoffer gjennom, mens de er ugjennomtrengelige for andre” (Wiesmann et al. 2007) fig 1. Målet er å rense væsken som går gjennom filteret for å kunne bruke filtratet, eller man ønsker å ta vare på konsentratet som er igjen etter filtrering (Porter 1990). De mest vanlige bruksområdene for membranfiltrering i dag er behandling av vann til drikkevann (Laine et al. 2000) (Chang & Kim 2005), rense avløpsvann (Halle et al. 2009) og lage høyere konsentrasjoner av visse typer væsker. Den siste metoden blir mest brukt i industri som bruker store mengder vann i sin tilvinningsprosess. I forskningssammenheng benyttes membranfiltre for å øke konsentrasjonen av, for eksempel en type bakterier, i en væske (Wiesmann et al. 2007). Dette er et eksempel på at man tar vare på konsentratet som er igjen etter filtrering (Porter 1990).

De forskjellige membranprosessene blir kategorisert etter diameteren på porene i membranfilteret (Wiesmann et al. 2007), vannflyten over filteret eller oppbygningen av selve filteret. Det finnes en rekke membranfiltreringsmetoder, og metoden som blir brukt kommer an på hvilke kriterier som skal oppnås. I dag er det 4 hovedtyper membranfiltre som brukes fig 1. Mikrofiltrering (MF) har porestørrelse fra 0,1 – 10  $\mu\text{m}$ , ultrafiltrering (UF) har porestørrelse fra 0,1 – 0,01  $\mu\text{m}$ , nanofiltrering (NF) har porestørrelse 0,01 – 0,001 og reversert osmose (RO) har porestørrelse 0,001 – 0,0001  $\mu\text{m}$  (SDWF 2010) (Lee et al. 2000).

# Membranfiltrering



Figur 1. De forskjellige membranfiltreringstypene, hva de slipper gjennom og trykkområde de jobber på ([www.bayertechnology.com](http://www.bayertechnology.com) 2010)

Fig 1 gir et overblikk over aktuelle membranfiltreringsprosesser og hvilket arbeidstrykk de jobber på. Hva de forskjellige prosessene kan fjerne fra en væske av celler, polymerer, proteiner, virus, molekyler, salter og vannløslige mineraler.

## 2. 1. 3 Materialer i forskjellige membranfilter

For å kunne velge materiale til membraner må en vite bruksområde til membranen. For de forskjellige polymertypene har forskjellige egenskaper. Et eksempel kan være en cellulose-type polymer. Denne type membraner binder proteiner dårlig. Noe som resulterer lite begroing, men den tåler ikke hard behandling når den skal renses (Zeman et al. 1996). Andre membraner kan tåle hard behandling med forskjellige rensedmidler når de skal tilbakespyles eller renses, men de har da en lavere terskel for begroing (Zeman et al. 1996).

Materialet må også, med dagens metoder, kunne formes til membraner uten større komplikasjoner. Det vil bli dyrt å begynne å produsere nye tekniker når det allerede eksisterer

# Membranfiltrering

---

metoder som fungerer bra. Materialene bør heller ikke være for dyre. Zeman antydnet i 1996 at materialprisen burde ligge mellom 2-20 \$/kg (Zeman et al. 1996). Som det går frem av tabell 1, består membranene i et membranfilter av to lag. Den ene er selve membranlaget, det vil si strukturen på membranen. Det andre er det rensende aktive laget. Dette laget er normalt ca 1  $\mu\text{m}$  tykt (Wiesmann et al. 2007).

Tabell 1. "Mest vanlige membranstrukturer, membranmateriale og det aktive laget som brukes innen membranfiltrering" (Wiesmann et al. 2007).)

	Membrane Structure	Membrane material	Active layer material
Microfiltration	Symmetric, porous	Polymer and ceramic	Polypropylene PP Polyvinylidenfluoride PV DF Polysulphone PSU Aluminum oxide Refined steel Titanium dioxide Zirconium dioxide
Ultrafiltration	Asymmetric porous	Polymer Phase inversion composite membrane and ceramic	Polysulphone PSU Reg. cellulose Polyacrylnitrile PAN Polyethersulphone PES Titanium dioxide Zirconium dioxide Polyvinylidenfluoride PV DF
Nanofiltration	Asymmetric dense	Polymer phase inversion, composite membrane	Polyamide PA (Zirconium dioxide) Polyethersulphone PES Cellulose acetate CA
Reverse osmosis	Asymmetric dense	Polymer phase inversion, composite membrane	Polyamide PA 95 % Cellulose acetate CA 5 %

## 2. 1. 4 Største problemene rundt membranfiltrering

I dag er problematikken rundt membranfiltrering begroing og tetting av filtrene. dette er problemer som ikke lar seg løse med bare tilbakespyling og kjemisk rensing (Li & Chen 2004). Det er gjort mange forsøk på å finne materialer som ikke tetter seg fort og med materialer som minsker begroing. Når en skal sette opp et membranfilter er det viktig at en er klar over hvordan vannkvaliteten er på det som skal renses. Grunnen til det er at man skal

# Membranfiltrering

---

kunne velge det materialet som fungerer best på den lokaliteten. Størrelsen på partiklene, og hva de består av har stor innvirkning på hvor tett membranen går tett (Yiantsios & Karabelas 1998). Materialene som brukes i membranfiltrene varierer en del, og har forskjellige egenskaper. Noen har høyere toleranse for begroing mens andre tåler partikler bedre, uten å senke gjennomstrømningen.

## *2. 2 Klassifisering av membranfiltreringsprosesser*

Membranfiltreringsprosessene blir kategorisert etter 3 kriterier. "Flow"-mønsteret igjen kan deles inn i 2 kategorier som er design relatert.

1. Hva slags membran det er snakk om, denne overlapper med porestørrelsen. For membrantype sier noe om hvor stor porestørrelsen er.
2. Hvilket arbeidstrykk kjøres filteret på
3. "Flow"-mønsteret til væsken over membranen fig 6 viser prinsippet til de 2 vanligste "flow"-mønstrene.
  - Design "cross-flow" membraner
  - Design "dead-end" membraner

### **2. 2. 1 Porestørrelser**

Klassifiseringskriteriet 1 for membranfilter er som nevnt membrantype og porestørrelse. Membrantype og porestørrelse sier noe om hvor store partikler membranfilteret slipper gjennom. Vi opererer med 4 typer i dag, mikrofiltrering (MF) porestørrelsen mellom 10 – 0,1  $\mu\text{m}$ , ultrafiltrering (UF) porestørrelse mellom 0,1 – 0,01  $\mu\text{m}$ , nanofiltrering (NF) porestørrelse mellom 0,01 – 0,001  $\mu\text{m}$  og reversert osmose (RO) porestørrelse mellom 0,001 – 0,00001  $\mu\text{m}$ . Hvis porestørrelsen er på 0,1  $\mu\text{m}$  tilsier dette at partikler på 0,1  $\mu\text{m}$  ikke slipper gjennom denne membranen (Zeman et al. 1996).

Mikrofiltre (MF) og ultrafiltre (UF) har noe av det samme målområdet og overlapper hverandre. Den minste porestørrelsen til MF, er mindre enn porestørrelsen til de grøveste UF

# Membranfiltrering

---

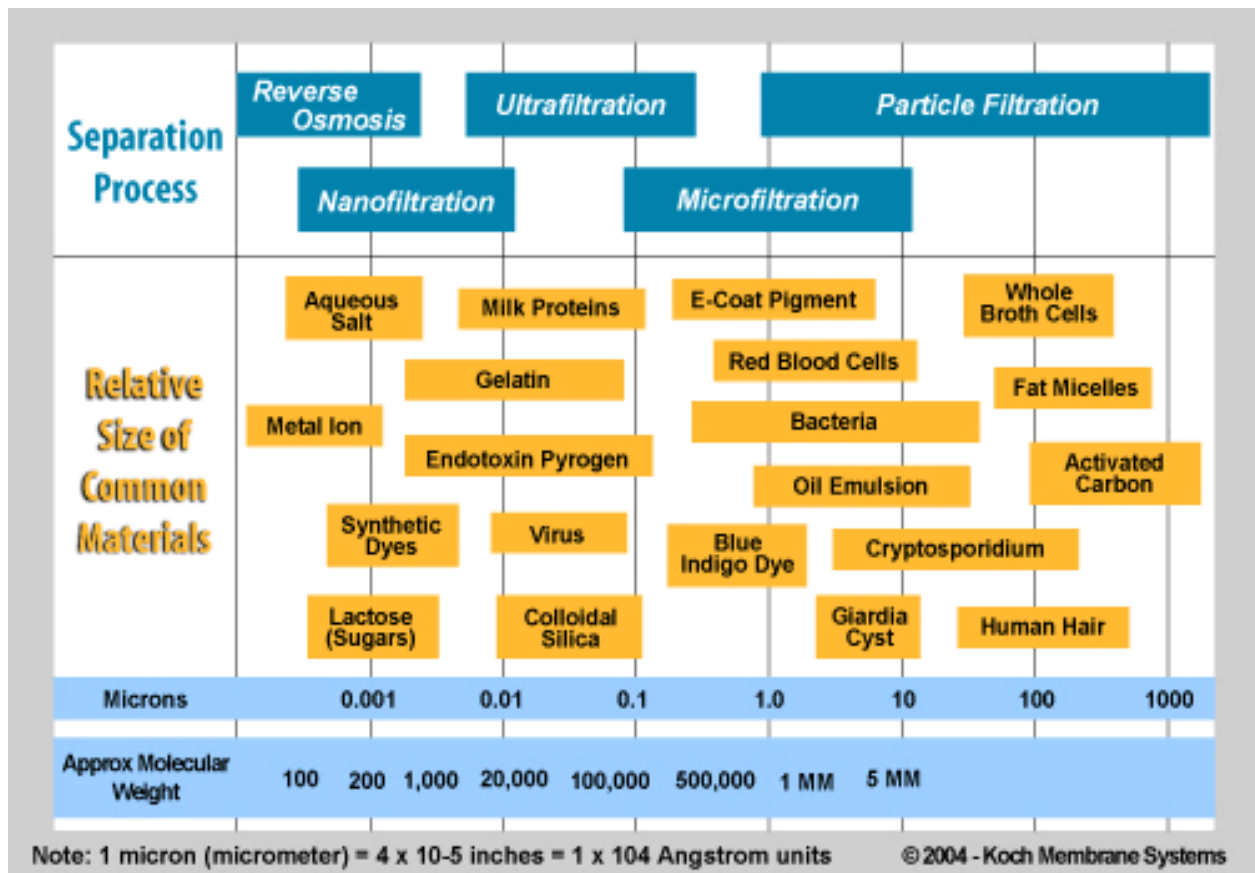
(Singh et al. 2008). Dette kan en se ut fra fig 2. Målet med MF og UF er å fjerne kolloider<sup>iv</sup>, bakterier, store organiske molekyler og virus (Noble et al. 1995). MF- og UF- membraner brukes i behandling av avløpsvann fra matindustrien, etterbehandling av avløpsvann som er delvis rensset, gjenbruk av vannløselige kjemikalier (her blir vannet rensset bort fra kjemikaliene), forbehandling av vann til sentralvarmeanlegg og eliminering av fosfater, metaller og mangandioksid. MF har et arbeidstrykk på mellom 0,1 og 5 bar, mens UF har et arbeidstrykk på mellom 0,9 og 10 bar (Wiesmann et al. 2007).

Nanofiltre (NF) fjerner mindre organiske molekyler og divalente ioner. Filtertypen brukes til å avsalte avløpsvann, avfarge avløpsvann fra tekstilindustrien og fjerning av spesifikke komponenter fra avløpsvann som spesifikke organiske molekyler, figur 1 og 2. Arbeidstrykket til NF ligger på mellom 8 og 60 bar (Wiesmann et al. 2007).

Reversert osmose (RO) fjerner partikler helt ned til løste ioner, fig 1 og 2. Filtertypen brukes innenfor fotoindustrien til gjenbruk av sølv, konsentrering av vaskevannet i celluloseindustrien, gjenbruk av fosforsyre, behandling av klorvann, avsalting av avløpsvann/sjøvann og gjenbruk av vann i forskjellig type industri. Arbeidstrykket ligger mellom 8 og 150 bar (Wiesmann et al. 2007).

For rensing av avløpsvann brukes MF og UF. Fig 2 viser hva de forskjellige prosessene fjerner og porestørrelsen til de forskjellige membranfiltrene.

# Membranfiltrering



Figur 2 Klassifisering av de forskjellige membranfiltreringsprosessene (Dancova et al. 2008) (Wiesmann et al. 2007).

## 2. 2. 2 Arbeidstrykk

Arbeidstrykket til membranfilteret overlapper noe med hvilken membranprosess det dreier seg om, fig 1. En annen faktor som også virker inn her er vannflyten over membranen. Det trenger ikke nødvendigvis å være så høyt trykk som det står i fig 1, kommer an på filterets utforming og vannflyten over membranen.

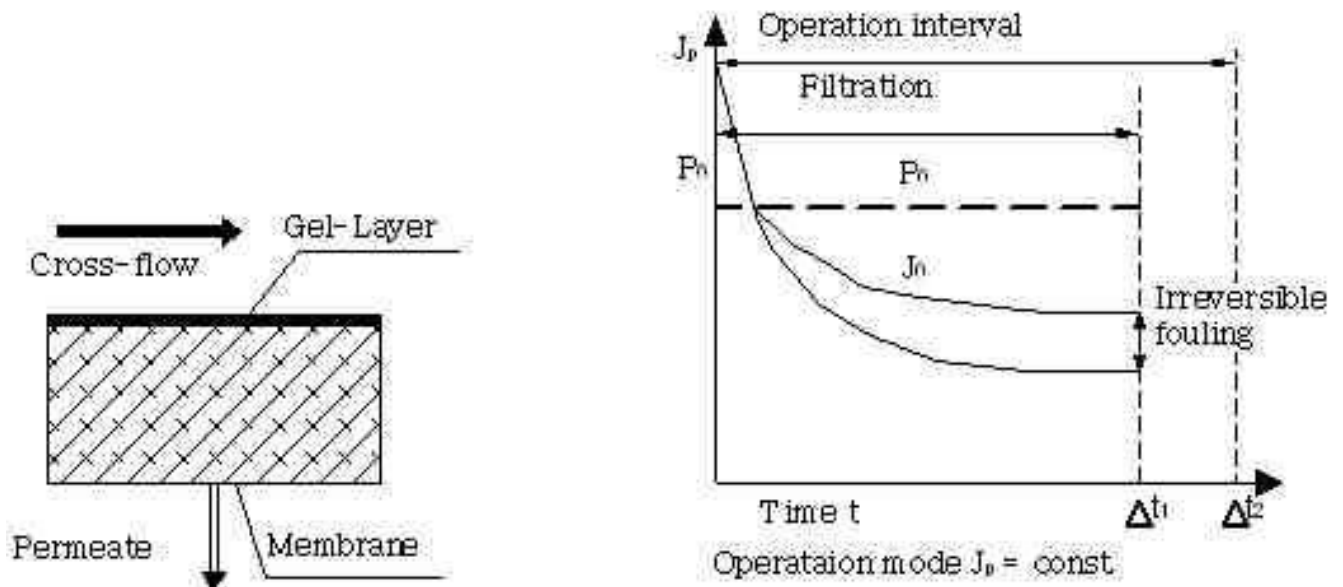
## 2. 2. 3 Flow-mønster over membranen

Tredje er hvordan vannet flyter over membranen. Det er i hovedsak 3 metoder som er brukt i dag. 2 av metodene bygger på samme prinsipp som er "cross-flow". Den siste er "dead end" begge disse metodene er beskrevet i fig 6.

Metode 1. "Cross-flow" membran, vannet føres over membranen og blir ved hjelp av trykk presset gjennom den (Dale Newkirk). Her er det en strøm inn i filteret,

# Membranfiltrering

mens det kommer to strømmer ut. Vannstrømmen inn er vannet som en ønsker å rense. Ut kommer det en vannstrøm med rent filtrat og en avløpsvannstrøm. Denne type filtre blir brukt når det er store partikler eller store mengder av partikler som skal renses ut av vannstrømmen. Grunnen til at denne typen filter brukes under slike forhold er at den er selvrensende. Vannstrømmen som går gjennom filteret og ut som avløpsvannet renses også filteroverflaten (Wiesmann et al. 2007) (Noble et al. 1995). Ulempen med denne typen vannflyt er kapasiteten og forbruk av spylevann (Noble et al. 1995).



Figur 3 Utsnitt av en "cross-flow" med vannflyten over filteroverflaten og operasjonskureven  $P_0$  = trykket over membranen,  $J_p$  = vannstrømmen gjennom membranen,  $\Delta t_1$  = tilbakespylingsperioden,  $\Delta t_2$  = kjemisk rensperiode (Wiesmann et al. 2007).

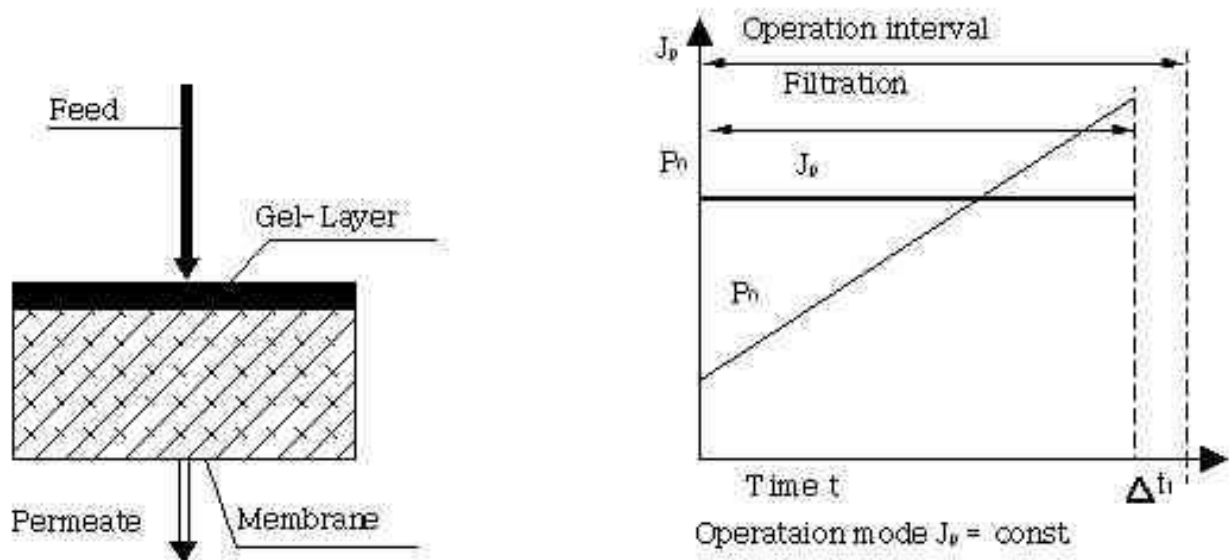
Grafen i fig 3 viser at trykket  $P_0$  er konstant, mens vanngjennomstrømningen  $J_p$  er avtagende. Dette skjer fordi over tid vil membranen tettets av partikler. Dette er ikke er til å unngå selv om vannstrømmen over membranen skal ta med seg mye av avfallstoffene, klarer den ikke å ta med seg alt. Dette kan i første omgang løses med tilbakespyling, når begroingen har gått for langt må man bruke kjemisk rensing, når dette ikke lengre hjelper må filteret byttes ut. Den



# Membranfiltrering

nederste linjen viser hva som skjer etter den første kjemiske rensingen som er  $\Delta t_2$ . For da har filteret for begroing eller tetting som ikke er mulig å fjerne med rensing (Wiesmann et al. 2007).

Metode 2. ”Dead-end” membran, vannet blir presset rett på en membranvegg og blir presset gjennom denne (Wiesmann et al. 2007) (Dale Newkirk). Stoffet som er for stort til å passere blir igjen i filtret. Filtre av denne typen må tilbakespyles, ellers tettes de veldig fort. Det tilbakespylte vannet må fjernes fra systemet, så her må en vannstrøm gå til avløp. Ulemper med dette systemet er at en må bruke deler av vannet enn har renses til å vaske filteret i form av tilbakespyling, det kan også brukes luft til dette (TMPP250 2009). Under denne tiden renses ikke filteret vann. Så skal det brukes vann under tilbakespylingsprosessen må en ha et vannlager eller flere parallelle filter. I vannverkssammenheng er det vanlig at et trykkutjammingsbasseng etter rensetrinnet er stort nok til å dekke forbruket i tiden det tar for filteret å tilbakespyles eller renses kjemisk.

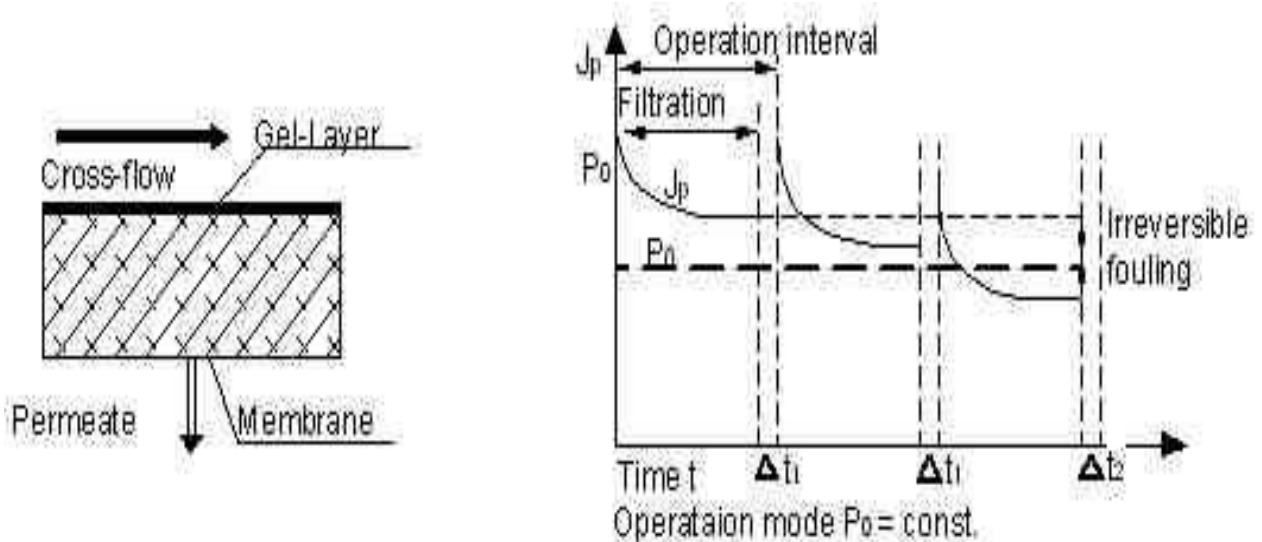


Figur 4 Utsnitt av en dead-end membran med vannflyten over filteroverflaten og operasjonskurven  $P_0$  = trykket over membranen,  $J_p$  = vannstrømmen gjennom membranen,  $\Delta t_1$  = tilbakespylingsperioden,  $\Delta t_2$  = kjemisk rensperiode (Wiesmann et al. 2007).

# Membranfiltrering

Kurven i figur 4 viser trykkutviklingen i en "dead-end" membran der vannstrømmen  $J_p$  gjennom filteret konstant mens trykket på membranen øker. Dette skjer fordi vannet blir kjørt på membranen med konstant "flow". Når membranen tetter seg på grunn av avfallstoffene som blir igjen i filteret, vil trykket på membranen automatisk øke. Dette vil skje helt til en tilbakespyler. Da vil prosessen starte på nytt med ny oppbygning av avfallstoffer (Wiesmann et al. 2007).

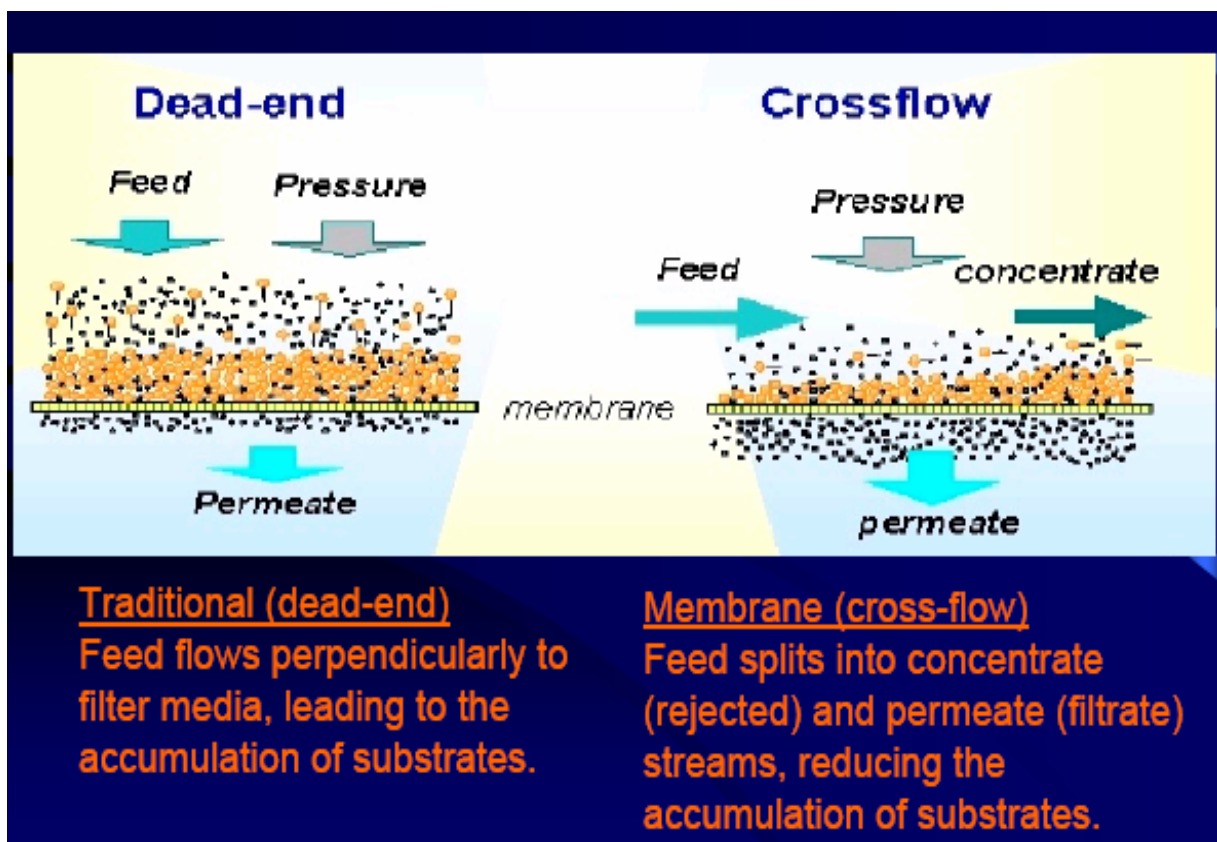
Metode 3. Her blir membranfilteret senket ned i den væsken som ønskes renses. Den bygger på samme prinsipp som "cross-flow", men i stedet for en strøm med væske over filteroverflaten, står filteret i væsken man ønsker å renses. Væsken blir sugd gjennom filteret fra utsiden til innsiden ved hjelp av vakuum (Wiesmann et al. 2007). Når filteret arbeider på denne måten blir det ikke den samme oppbygningen av avfallstoffer i membranene. Luft brukes både til å renses filteroverflaten, og til å holde væsken i bevegelse over membranoverflaten (Wiesmann et al. 2007).



Figur 5 Utsnitt av en nedsenket membran med vannflyten over filteroverflaten og hvordan den operasjonskurven  $P_0 =$  trykket over membranen,  $J_p =$  vannstrømmen gjennom membranen,  $\Delta t_1 =$  tilbakespylingsperioden,  $\Delta t_2 =$  kjemisk rensperiode (Wiesmann et al. 2007).

# Membranfiltrering

Kurven i figur 5 viser ”flow-” utviklingen gjennom et nedsenket filter der trykket over membranen er konstant mens vannstrømmen gjennom membranen er avtagende. Dette skjer når membranene begynner å tette seg. Siden dette er en nedsenket membran vil den bli renses ofte enten med luft innefra og ut eller med luftbobler over overflaten. Etter hver gang den er renses vil  $J_p$  øke noe. Etter en tids bruk må derfor membranen renses kjemisk eller byttes ut. (Wiesmann et al. 2007).



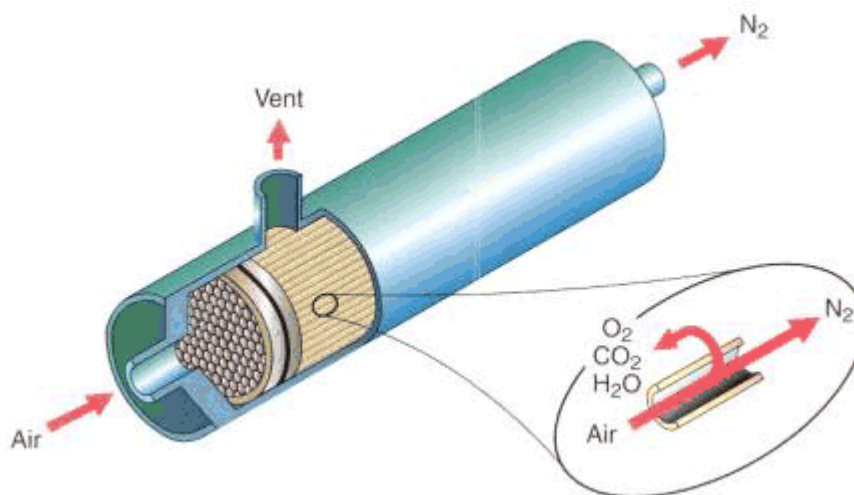
Figur 6. Prosessene dead-end og cross-flow membran (Dale Newkirk).

Hvor lang holdbarhet de ulike metodene har er avhengig av forhold på lokaliteten, hva slags vann som skal renses, forurensningsgrad og hva forurensningen består av. Noen filtertyper blir veldig fort tette av mye proteinrike partikler mens andre igjen tåler disse partiklene bra. Andre typer igjen tåler ikke mye humus. Så valg av membranfilter og vannstrømmen over filteret må skje ut fra lokalitet.

## 2. 2. 4 Modell design cross-flow

### Hollow fiber

Dette tynne rør (fibrer) som er laget av et materiale som fungerer som membran, og har en selv bærende struktur. Disse fibreene har en tykkelse mellom 200 – 2500  $\mu\text{m}$ , og veggene er rundt 200  $\mu\text{m}$  tykke. Disse fibreene kan bli buntet sammen i et større rør. Her blir de festet på en slik måte at avløpsvannet og det rene vannet ikke kan komme i kontakt med hverandre. Denne enheten kan fungere på to måter. Enten blir avløpsvannet presset ned i de tynne fibreene og gjennom veggen. Da vil en få rent vann inne i det største røret mens det i de tynne fibreene vil være avløpsvann. Dette er illustrert i figur 7.



Figur 7 "Hollow fiber" membran som er beregnet til gasseparasjon, prinsippet er det samme for vann. Med vann ville air vært avløpsvann, vent kommer det rene vannet og  $\text{N}_2$  ville vært det urensede avløpsvannet.  
(<http://www.fire.tc.faa.gov/images/systems/hfm.gif>)

Det er også mulig å kjøre denne motsatt vei og få det urensede vannet ut der det står vent og det rene vannet der det står air. Da er også de minste fibreene laget så de skal rense den veien Filteret fungerer da på vakuum og ikke trykk som i figur 7. Denne typen membraner faller inn under kategorien "cross-flow" membraner. Det er også mulig å ha en kassett med mange slike fibre festet og da senke kassetten ned i det vannet en ønsker å rense. Filteret drives da på vakuum (Zeman, L. J., 1996).

# Membranfiltrering

---

## **”Tubular Device”**

Denne typen er veldig lik ”hollow” fiber, men skiller seg ut ved at det som er tynne fibre i hollow fiber membraner her er mye tykkere rør. De har en størrelse på mellom 0,3 – 2,5 cm i diameter. De har ikke en selvbærende struktur. Disse er lagt inn i et rør på lik måte som fibrene i ”hollow” fiber membraner, men siden de ikke har noen bærende struktur må det være et bærende materiale rundt dem, dette materiale er som oftest av en porøs karakter, det kan være laget av glassfiber, keramikk, plastikk eller rustfritt stål. Disse tubene kan være alene eller sammen med flere i en membranenhet. Oppbygningen blir lik som for ”hollow” fiber membraner, men den kan bestå av kun en tube i stedet for mange fibre. Fordeler med denne type membraner er at de ikke tettes så lett som andre typer. Ulemper er at denne har høyest pumpekostnader av stort sett alle membranfiltre. Årsaken til dette er at tubene har så stor diameter (Zeman, L. J., 1996).

## **Plate membraner**

I MF og UF er plate membraner de første som ble laget i stor skala til kommersielt bruk. Disse membranene blir bygget opp ved at filterduken blir festet på en støtteplate som igjen blir festet i en ramme. Støtteplaten er den delen som bestemmer retningen på vannstrømmen, vannstrømmen over filtret er ”cross-flow”. Illustrert i fig 8.

# Membranfiltrering

---

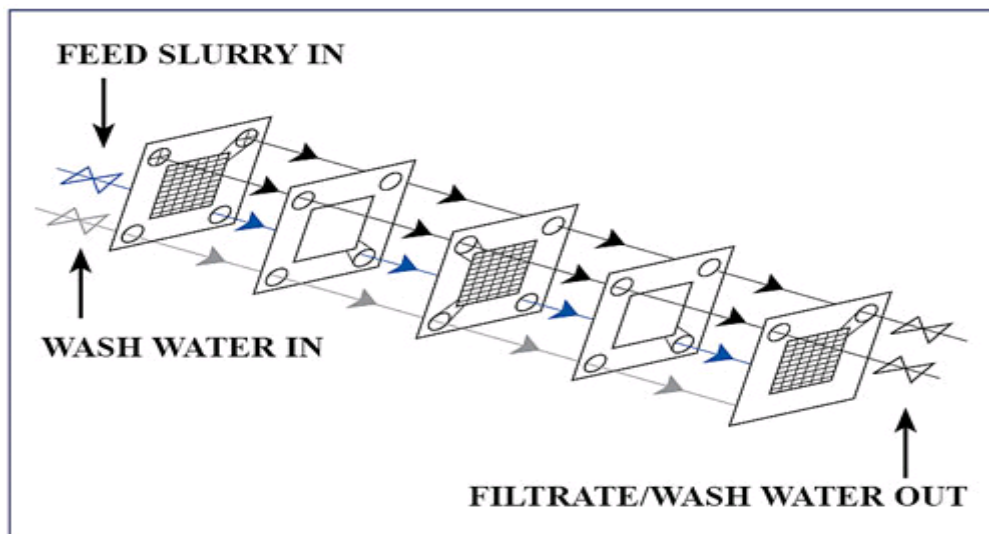


Diagram of flow path through the plate and frame filter.

Figur 8 Skjematisk fremstilling av plate membranfilter, det er en strøm inn i filtret og to ut. Det som kommer ut er avfallsvannet og det rensede vannet ([http://www.discoverarmfield.co.uk/data/uop12/images/uop12\\_diagram-01.jpg](http://www.discoverarmfield.co.uk/data/uop12/images/uop12_diagram-01.jpg)).

Denne typen membraner har en tendens til å bli tette av produktene de skal fjerne fra vannet. Derfor har de ofte blitt brukt når en ønsker å ta ut et produkt fra en vannstrøm som en ønsker å ta vare på eller jobbe videre med. Under tilvirkning av denne typen membraner er det største problemet å få sidene tette så det rene vannet ikke blander seg med avfallsvannet (Zeman, L. J., 1996). Faren for vannlekkasje rundt membranen gjør at denne konstruksjonen ikke er egnet som eneste smittebarriere i et renseanlegg. Platemembraner brukes også til rensing av avløpsvann (Dancova et al. 2008) ofte sammen med et sedimenteringskammer og en biofilm. Renseanlegget siClaro er av denne typen.

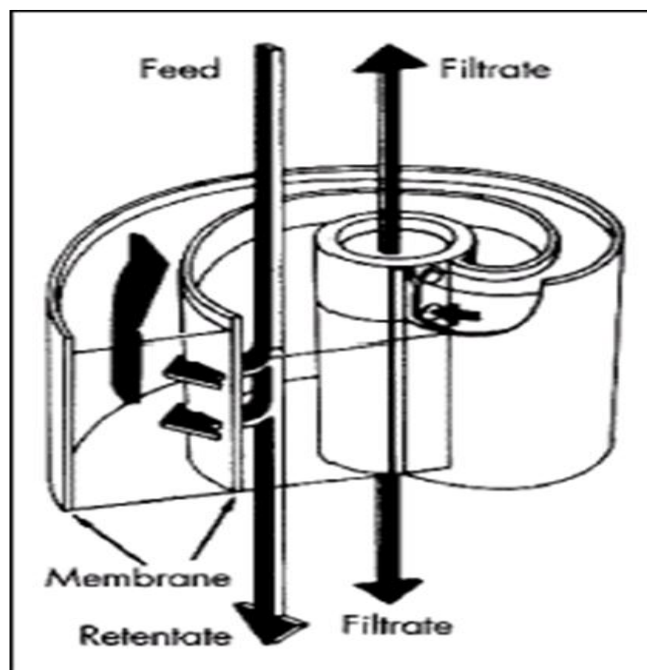
# Membranfiltrering

---

## ”Spiral wound”

Membranfiltre av denne typen er bygget opp på lignende måte som platemembraner. Største forskjellen er at ”spiral wound” er rullet sammen rundt et rør som slipper det rene vannet ut, mens avfallsvannet går ut gjennom sidene, illustrert i fig 9. Fordeler med denne typen er lave produksjonskostnader, høy massetransport og stor membranoverflate på liten rull. Filteret er vanskelig å rengjøre/tilbakespyle, og det kan få mye begroing på grunn av at ustabil vanntrykk over hele membranen kan føre til bakterievekst

([http://chemeng.mcmaster.ca/search\\_results.html?cx=017110053273856412988%3Aakq6v26t6nm&q=spiral+wond+membrane&sa.x=5&sa.y=9&cof=FORID%3A11&hq=inurl%3Achemeng.mcmaster.ca#361](http://chemeng.mcmaster.ca/search_results.html?cx=017110053273856412988%3Aakq6v26t6nm&q=spiral+wond+membrane&sa.x=5&sa.y=9&cof=FORID%3A11&hq=inurl%3Achemeng.mcmaster.ca#361)) (Keong, L. K.,2007) (Zeman, L. J., 1996)



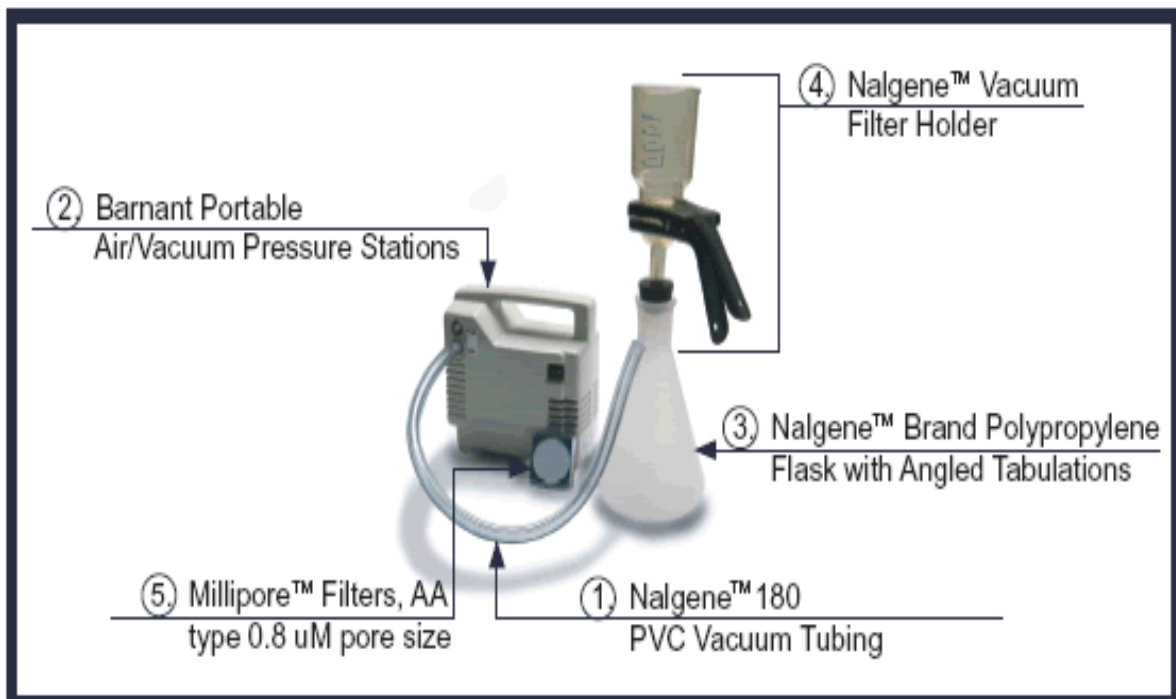
Figur 9. Snitt av en ”spiral wound” membran. Her blir avløpsvannet presset gjennom filteret fra en av sidene og inn mot midten hvor det er et rør som fører det rensede vannet ut i en av endene

([http://chemeng.mcmaster.ca/search\\_results.html?cx=017110053273856412988%3Aakq6v26t6nm&q=spiral+wond+membrane&sa.x=5&sa.y=9&cof=FORID%3A11&hq=inurl%3Achemeng.mcmaster.ca#361](http://chemeng.mcmaster.ca/search_results.html?cx=017110053273856412988%3Aakq6v26t6nm&q=spiral+wond+membrane&sa.x=5&sa.y=9&cof=FORID%3A11&hq=inurl%3Achemeng.mcmaster.ca#361)).

## 2. 2. 5 Modell design "dead-end"

Filter modellen "spiral wound" er i prinsippet mulig å kjøre på "dead-end" modus ved at utløpet for avfallsvannet stenges. Dette fører til at alt vannet tvinges gjennom membranene. Et "dead end" filter av denne typen går tett meget fort hvis vannet som skal renses er veldig urent. Blir de veldig tette er det vanskelig å få rensset dem.

Den vanligste bruken av "dead-end" filtre er i laboratoriesammenheng hvor en ønsker å ta vare på partiklene i væsken og ikke selve væsken. For kjører en vannet gjennom et "dead-end" filter vil alle partikler være igjen i filteret og blir lettere og ta ut (Zeman, L. J., 1996). Brukes blant annet under måling av suspenderte stoffer (SS). Fig 10 oppsettet for SS-analyse.



Figur 10. "dead-end" filter, denne type filter har ikke stor kapasitet og brukes blant annet til å kjøre forsøk på SS (suspenderte stoffer) ([http://www.powellfab.com/images/simp\\_solids\\_test.gif](http://www.powellfab.com/images/simp_solids_test.gif)).

De fleste dead-end membraner fungerer på lignende måte. Væsken blir enten presset eller suget gjennom filteret. Det er også noen modeller som har samme oppbygning som platemembraner bare at de er sylindrerformet og har en større porestørrelse innerst og blir mindre utover. Dette fører til at den ikke går tett så fort (Zeman, L. J., 1996).



# Membranfiltrering

---

## 2. 3 Tidligere forsøk utført på renseanlegget siClaro

Tidligere upubliserte data på dette filteret har gitt disse tallene for SS, turbiditet, E-coli, fosfor.

Tabell 2. Tidligere upublisert data (Olsen E 2008). Tilapia eller trommelfilter betyr at vannet er hentet fra disse avdelingene i Fiskefjøset, og renset i renseanlegget siClaro.

Dato	Sted	E-Coli	SS	Turbiditet	Totalt P	Totalt P	Totalt P
01.09.09	Tilapia inntaket	4	11,69	0,29	1,79	1,77	1,78
01.09.09	Tilapia etter filtrering	0	0	0,08	1,47	1,49	1,48
09.09.09	Trommelfilter inntaket	0	10	1,64	0,27	0,26	0,26
09.09.09	Trommelfilter etter filtrering	0	0	0,05	0,19	0,19	0,19

Tabell 2 viser upubliserte data for renseanlegget siClaro, Når det står tilapia eller trommelfilter betyr dette at vannet er hentet fra disse stedene i Fiskefjøset. Inntak og etter filtrering betyr hvor på renseanlegget siClaro de er målt fra (Olsen, E. 2008 upublisert).

## 3. Materiale og Metoder

### 3. 1 Forsøksbetingelser

#### 3. 1. 1 Beskrivelse av renseanlegget siClaro

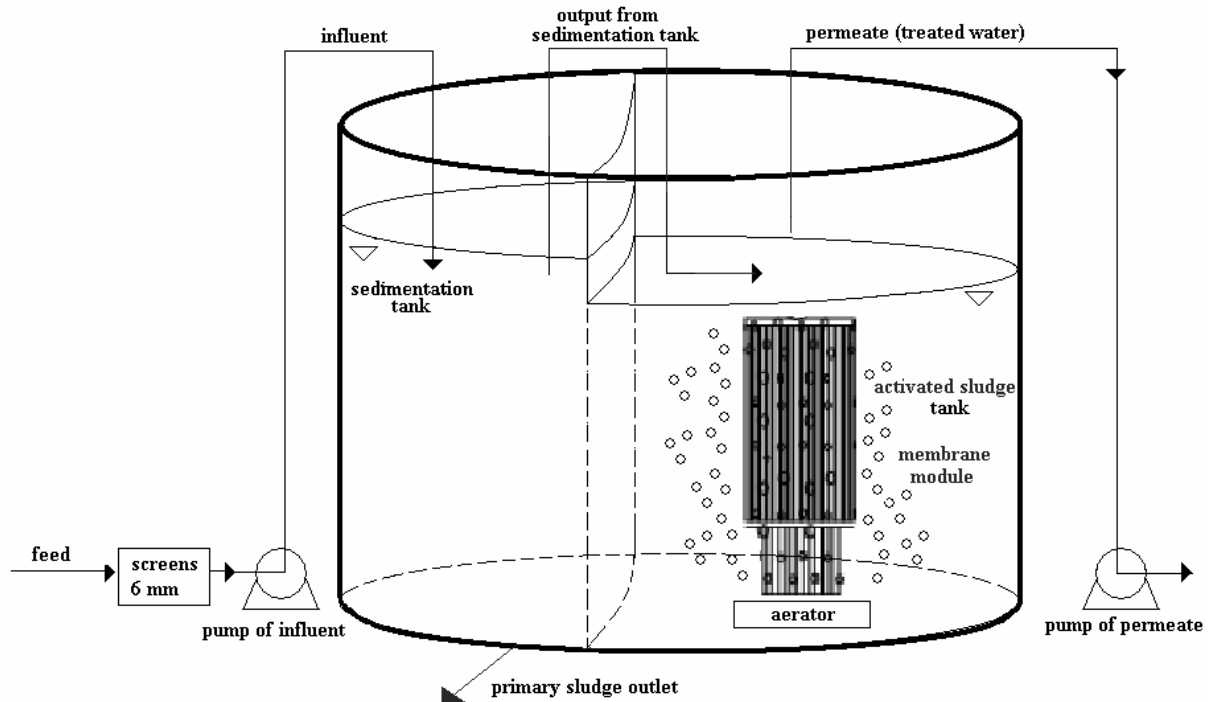
Renseanlegget som ble brukt var siClaro FM611 fra Martin Systems, dette renseanlegget er beregnet for rensing av avløpsvann fra husstander (Dancova et al. 2008) ( Bodík 2007).

Anlegget er beregnet for en husstand på 4 personer, har en kapasitet på 0,6 m<sup>3</sup> pr døgn.

#### 3. 1. 2 Prosess beskrivelse for renseanlegget

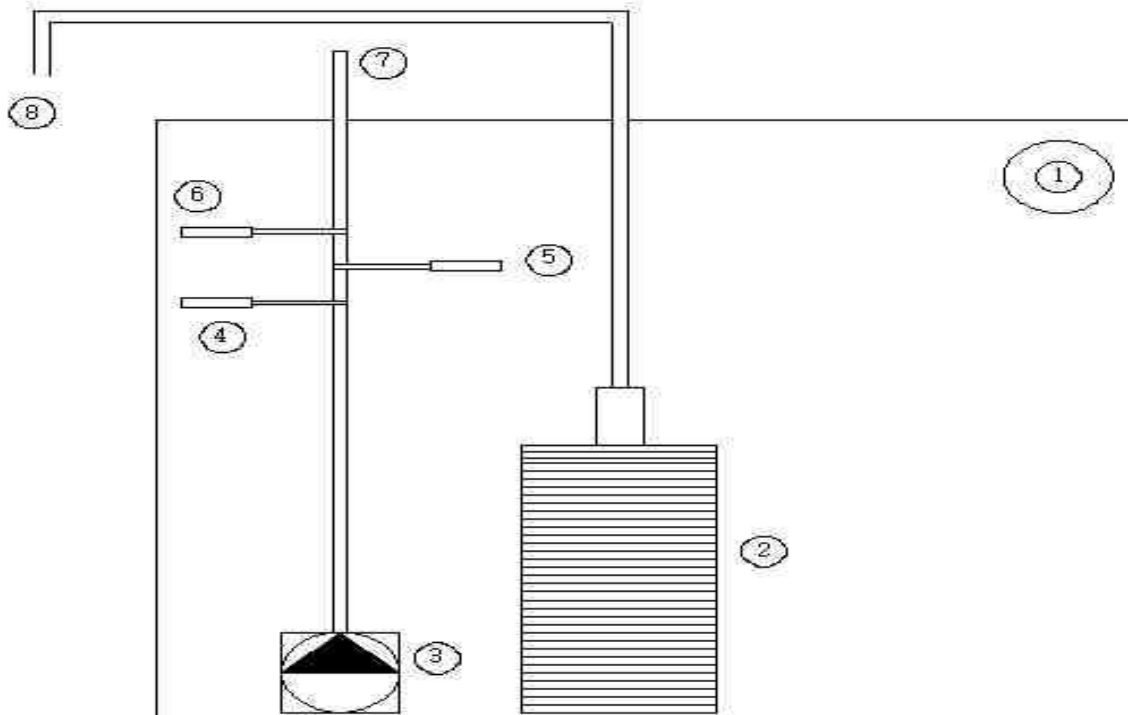
Anlegget har 2 kammer figur 11. Kammer nr. 1 er et sedimenteringskammer. Her kommer avløpsvannet inn, og de største partiklene sedimenterer til bunnen av tanken. Dette skjer ved hjelp av tyngdekraften. Etter sedimentering går avløpsvannet i overløp kammer nr. 2. I dette kammeret står en slampumpe og et membranfilter. På dette membranfilteret er det festet luftere.

# Membranfiltrering



Figur 11 Skisse over anlegget, pumpen for "permeate" sitter ikke der på renseanlegget, men sitter på membranfilteret og slampumpen er ikke satt inn (Bodík, I., 2007).

Opgaven til lufteren er å rense filteroverflaten og holde vannet i bevegelse over filteroverflaten.. Filteret har en gjennomsnittelig porediameter på 35 nm. Det er derfor en effektiv barriere for bakterier og partikler større en 35 nm. En 12W pumpe skaper undertrykket som driver filteret. Pumpa suger vannet gjennom filteret og ut som rent vann. Pumpen gir et konstant transmembranisk trykk på under 10 kPa (1 mvs.) nedsenket i kammer nr 2 er det en slampumpe for kunne fjerne slam som legger seg på bunn i dette kammeret. Denne pumpa pumper vannet over i sedimenteringskammeret.. Anlegget skal tømmes for slam en gang i året under vanlig bruk som renseanlegg for avløpsvannet fra en husstand på inntil 4 personer. Slampumpen og lufteren på membranfilteret er intervallstyrt, og den vesle pumpa i membranfilteret er styrt ved hjelp av 2 flottører som er festet i kammer nr. 2. I tillegg er det en flottør som styrer alarmen som går hvis renseanlegget får overbelastes. Alle tre flottørene registrerer vannstanden i kammer nr 2. På fig 12 ser en hvordan de er festet.



Figur 12. Skisse over de forskjellige komponentene i kammer nr 2.

1. Innløpet fra kammer nr. 1.
2. Membranfilteret med luftere og 12W pumpe.
3. Slampumpe
4. Flottøren som forteller at anlegget er fullt, stopper pumpen i membranfilteret
5. Starter pumpen i membranfilteret
6. Flottøren for alarm når anlegget har overbelastning
7. Rør fra slampumpe til kammer nr. 1
8. Uløpet for det rene vannet fra membranfilteret

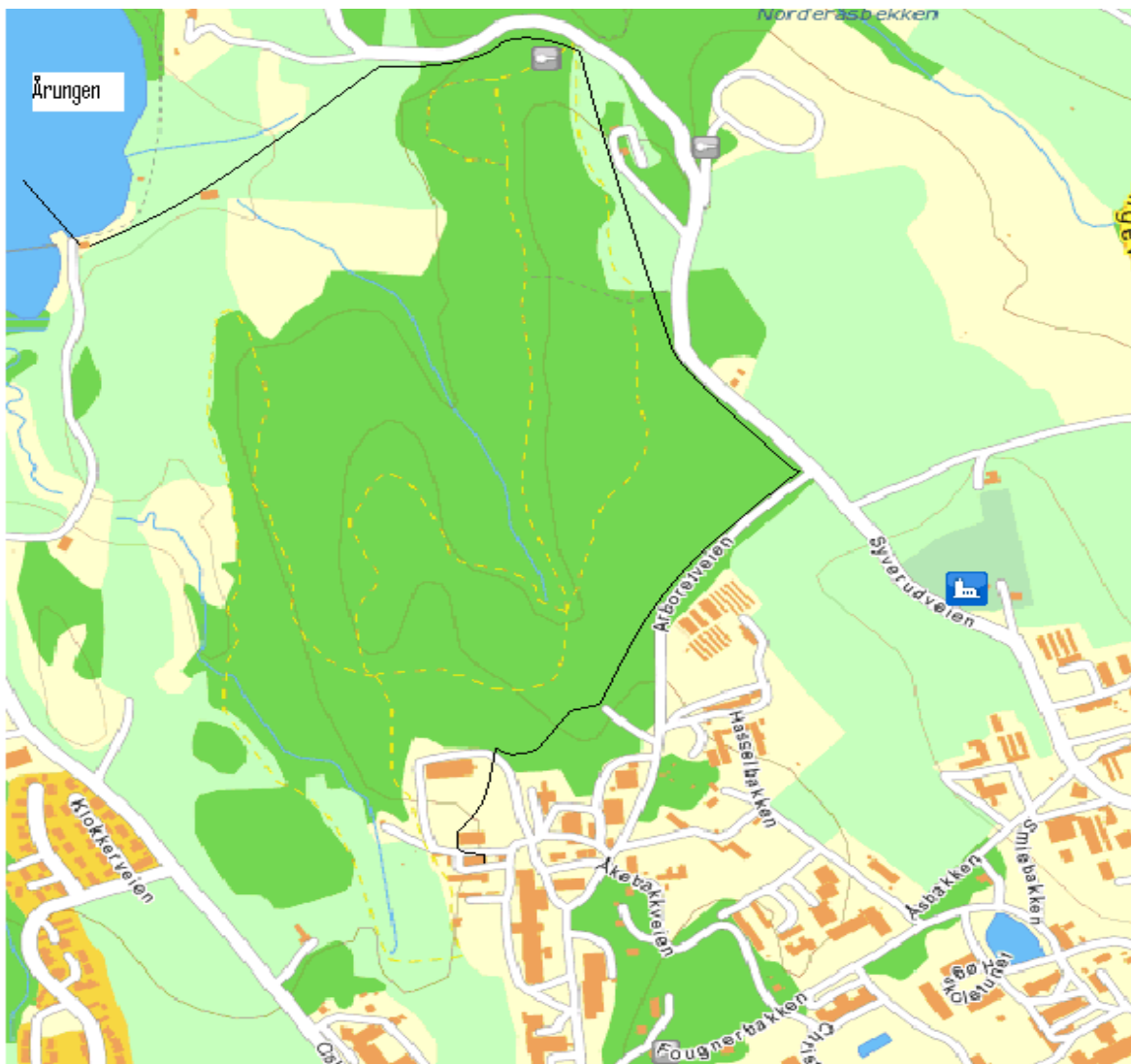
### 3. 1. 3 Fasiliteter og rammene rundt forsøket

Renseanlegget ble satt opp bak Fiskefjøset på UMB. Plasseringen gjorde det mulig å dra vannledningen gjennom døra på Fiskefjøset og inn på renseanlegget. Vannledningen kommer

# Membranfiltrering

---

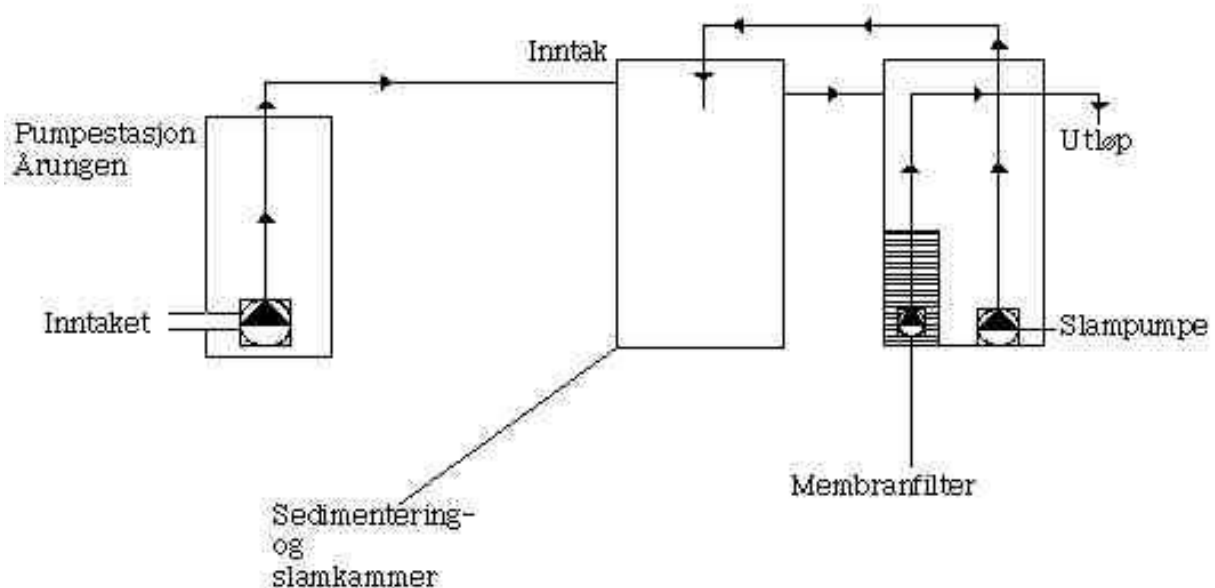
til Fiskefjøset fra en pumpestasjon som ligger i sør enden av Årungen. Denne pumpestasjonen pumper vann fra Årungen nesten opp til Ås kirke, her brukes det blant annet til vanningsanleggene for drivhusene som er driftet av UMB. Videre går vannledningen ned til Fiskefjøset så det er mulig å gjøre forsøk med dette vannet. Hele vannledningen er vist på fig 13 er et kart over deler av Årungen og UMB. Vannledningen er merket inn på dette kartet som en sort strek.



Figur 13. Vannet blir hentet 66 m fra land på 3 m dyp fra Årungen. Den sorte streken på kartet under viser hvor denne vannledningen er lagt ut i Årungen, hvor pumpestasjonen befinner seg og tilknytningen til Fiskefjøset. Fiskefjøset er enden på den sorte streken. Kartet er ikke i målestokk.

# Membranfiltrering

Vann fra Årungen ble koblet på renseanlegget ved å dra en vannslange fra inntaksledningen inne på Fiskefjøset, gjennom døren bak Fiskefjøset og feste på inntaket til renseanlegget. Fig 14 viser flytskjemaet til vannet fra Årungen og gjennom renseanlegget. Renseanlegget har en kapasitet på  $0,6 \text{ m}^3$  i døgnet. Det viste seg at trykket på vannledningen inn til Fiskefjøset ikke var konstant. På grunn av dette var en eksakt regulering av vannstrømmen inn i filteret vanskelig å få til med de midlene vi hadde til rådighet. Vi valgte derfor å la anlegget gå med en svak overbelastning for å sikre at filterenheten til enhver tid fikk nok vann og for å sikre at anlegget i frøs i perioder med til dels kraftig nattefrost. Vann- ”flowen” gjennom filteret ble derfor forsøkt og stilt inn på  $0,8 \text{ m}^3$  pr. døgn. Den holdt seg ikke på dette nivået fordi trykket varierte veldig på vannledningen. I forhold til forsøkene var denne overbelastningen av systemet uten betydning siden det var effekten av membranfilteret som skulle testes og ikke effekten av hele renseanlegget.



Figur 14. Anlegget med bestanddeler og vannflyten fra Årungen gjennom anlegget.

## 3. 2 Forsøksplan og forsøksopplegg

Forsøkene rundt renseanlegget siClaro er ikke utført for å finne ut hvor bra dette renseanlegget rensar, men hvor bra membranfilteret i dette anlegget fungerer.

# Membranfiltrering

---

Membranenheten kan være gunstig til bruk i Fiskefjøset fordi den er en nedsenkbar, og den er lite energikrevende i forhold til andre type membranfilter. Med et filter som er nedsenkbart slipper man å bruke mengder med vann til tilbakespyling og en slipper også å ha eget avløp til spylevannet. Målet er å finne ut om denne typen filter er mulig å bruke når vann fra Årungen skal renses for så å bli brukt i Fiskefjøset.

Det ble tatt ut en vannprøve, ut i fra denne vannprøven ble det kjørt to analyser.

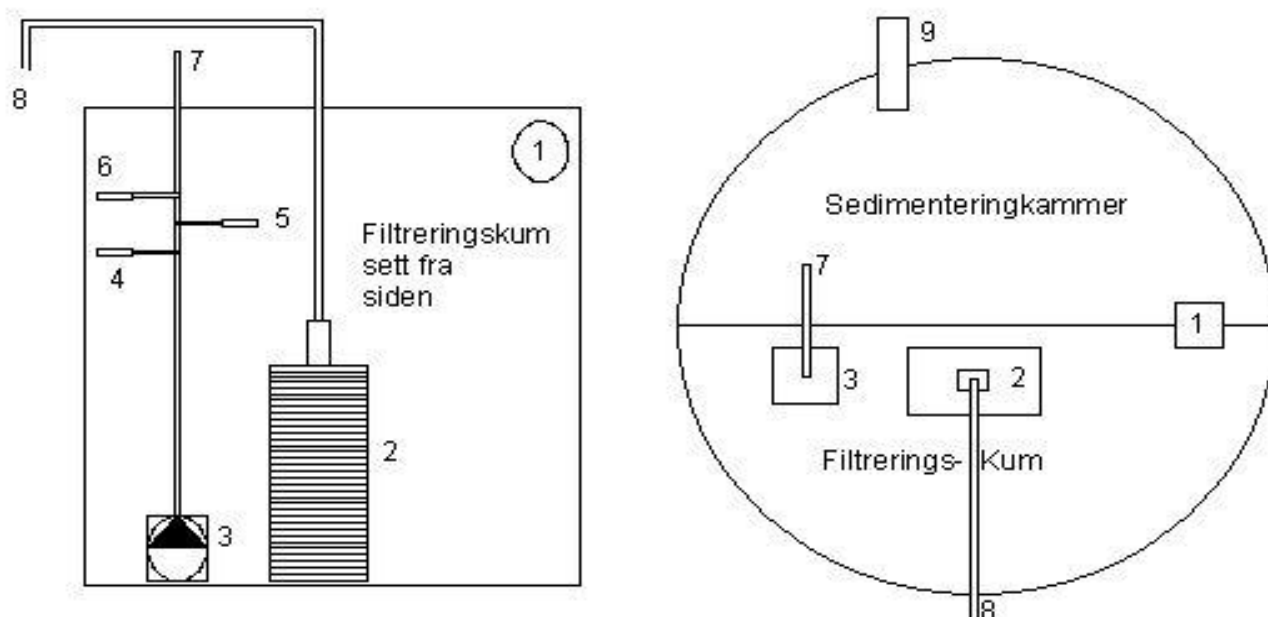
Målet var å se hva filtrenheten klarte å rense ut og hva den ikke klarete å fjerne.

### *3. 3 Registrering og databehandling*

Målingene blir gjort over flere dager, dette av praktiske årsaker. Med tanke på årstiden prøvene blir tatt på, vil det ikke være store variasjonen i forurensningsgraden på vannet fra Årungen. Det begynner å bli kaldt i vannet og den biologiske aktiviteten begynner å avta. Forurensningsgraden på vannet er stabil på denne årstiden så det vilt ha liten betydning for prøvene at de er tatt over flere dager. Det ble kun gjort et gjentak på prøvene, men ut fra disse prøvene ble det kjørt 2 gjentak på analysene. Dette ble gjort på grunn av tidsmangel, og at noe av måleutstyret var i bruk i andre forsøk under denne tidsperioden. Vannledningen fra Årungen til fiskefjøset ble stengt i midten av desember, og ikke åpnet igjen før i april.

Prøvene ble tatt med rene ubrukte 10 liters plastkanner med kork. Figur 15 illustrerer hvor prøvene ble tatt. Vannprøvene ble tatt fra inntaket på renseanlegget, etter at det hadde sedimentert og etter filtrering. Disse prøvene ble tatt samtidig. Rekkefølgen var, inntaket, etter sedimentering og etter filtrering. Prøvene ble tatt over 18 dager, på lik måte alle gangene. Det ble målt på forskjellige parametere over disse dagene. Dette skal igjen ikke ha stor betydning siden det er membranfilterets effekt som skulle måles, og at vannkvaliteten fra Årungen er stabil på denne årstiden.

# Membranfiltrering



Figur 15. 1 innløpet fra sedimenteringskammert, 2 membranfiltret med lufterer og 12 W pumpe, 3 slampumpe, 4 flottøren stopper pumpen i membranfiltret, 5 starter pumpen for membranfiltret, 6 flottøren for anlegget under overbelastning, 7 rør for slampumpe, 8 utløpet til det rene vannet, 9 inntaket av avløpsvannet.

Dette skal igjen ikke ha stor betydning siden det er membranfilterets effekt som skulle måles.

### 3.3.1 Målemetodene

30.10.09 prøven for nitrogen og turbiditet blir hentet fra renseanlegget bak fiskefjøset, kjørt opp til vannlaboratoriet. Fra prøven ble tatt i renseanlegget til forsøket ble satt i gang i vannlaboratoriet gikk det under en time.

05.11.09 prøvene for Årungen, disse prøvene ble hentet ved rostasjon og fraktet med bil til vannlaboratoriet. Forsøket opp mot totalt fosfor og totalt nitrogen ble satt i gang innen en time etter at de var hentet opp fra Årungen.

17.11.09 prøvene for biologisk oksygenforbruk (BOF), kjemisk oksygenforbruk (KOF), suspenderte stoffer (SS) og fosfor. Her ble BOF forsøket satt i gang innen en time etter at prøvene var tatt opp fra renseanlegget, mens KOF og fosfor forsøkene ble satt i gang et sted mellom en, en og en halv time etter at vannprøvene var tatt ut av renseanlegget. SS forsøket

# Membranfiltrering

---

ble satt i ca 2.5 timer etter at vannprøven var hentet opp fra renseanlegget. Det var den som ble målt sist, dette fordi SS ikke lar seg påvirke av temperatur eller gasdiffusjon.

Nitrogen, fosfor og KOF ble analysert med WTW pHotoFlex. PHotoflexen måler fargeomslag i prøven. Dette fargeomslaget kommer når visse typer kjemikalier blir tilsatt. Prøven blir så varmet opp i en thermoreaktor. Thermoreaktoren gjør så prøven sammen med kjemikaliene som er tilsatt bryter opp alle bindinger. Dette gjøres for å kunne måle på de totalt oppløste stoffene, som i dette tilfellet er totalt oppløst nitrogen, totalt oppløst fosfor og KOF ([http://www.wtw.com/media/US-USA\\_L\\_078\\_105\\_photo\\_wo\\_spectro.pdf](http://www.wtw.com/media/US-USA_L_078_105_photo_wo_spectro.pdf)). Kjemikaliene som brukes er i ”utstyrskitte” man får bestilt fra WTW for de forskjellige prøvene. Hva disse ”kittene” inneholder står ikke på pakken, produsenten ønsker heller ikke å gå ut med dette.

Utstyret man trenger for å fullføre analysene av nitrogen, fosfor og KOF er:

- pHotoFlex
- Thermoreaktor
- Destillert vann
- Stativ til reagensrør
- Vannprøvene fra renseanlegget
- Tørkepapir
- Prøvekitt COD1 TC (LR), 0 – 150 mg/l / ppm. COD / CSB
- Prøvekitt Phosphate cell test P6/25 måleområde 0,05 – 5 mg/l PO<sub>4</sub> – P, 0,2- 15,3 mg/l PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>.
- Prøvekitt for nitrogen, Ntot TC LR Set 0,0 – 25 mg/l
- Salpeter
- Begerglass som rommer ½ l



# Membranfiltrering

---

- Teskje

Det som er viktig før man analyserer prøvene i pHotoFlexen er at den kalibreres opp mot en blank prøve. Dette gjøres ved å lage en prøve med de forskjellige prøvekitene, den blanke prøven lages ved å bruke destillert vann i stedet for vannprøven. Så tastes koden for analysen man skal kjøre inn på pHotoFlexen og følger instruksene på pHotoFlexen for å kalibrere den.

## **Kjemisk oksygen forbruk**

For å analysere vannprøvene for KOF ble prøvekit COD1 TC (LR), 0 – 150 mg/l ppm. COD / CSB brukt. For klargjøring og kjøring av analysen følger en instruksene i vedlegg 1.

## **Fosfor**

For å analysere vannprøvene for fosfor ble prøvekit Phosphate cell test P6/25 måleområde 0,05 – 5 mg/l PO<sub>4</sub> – P, 0,2- 15,3 mg/l PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> brukt. For klargjøring og kjøring av analysen følger en instruksene i vedlegg 2.

## **Nitrogen**

For å analysere vannprøvene for fosfor ble prøvekit Ntot TC LR Set 0,0 – 25 mg/l. For klargjøring og kjøring av analysen følger en instruksene i vedlegg 3. Her ble det også laget en prøve med salpeter, denne ble laget med å ta ½ l vann fra kranen og tilsatt en teskje salpeter og rørt så alt ble løst i vannet.

## **Turbiditet**

Utstyr enn trenger:

- Merck Turbiquant 3000 IR
- Kalibreringsglassene.
- Rene glass til prøvene.
- Tørkepapir.
- Vannprøven fra rensanlegget.

For å analysere turbiditet i prøven, brukes en Merck Turbiquant 3000 IR. Først kalibrerer en måleinstrumentet, dette gjøres ved å følge vedlagt brukerveiledning. Deretter rister en prøven godt før en har prøven på helt rene glass som følger med måleinstrumentet. Etter at prøven var

# Membranfiltrering

---

fylt på glasset ble korken skrudd igjen og glasset tørket av godt utvendig med papir, dette for å unngå urenheter eller fingeravtrykk på glasset. Prøven ble så satt i måleinstrumentet da måler den automatisk. Tallene skifter mye under måling med dette instrumentet. Tallet som er representativt for prøven er det tallet som sto i displayet i 5 sec etter at prøven var satt i instrumentet.

## **Suspenderte stoffer**

Utstyr enn trenger:

- Begerglass med målestreker som rommer en liter eller mer.
- Destillert vann.
- Mikrofilter med størrelsen 0,45  $\mu\text{m}$ .
- En luft vakuumpumpe.
- En flaske med festemuligheter i halsen til slangen fra vakuumpumpen.
- En holder til filteret.
- En tørkevekt
- Vannprøven fra rensenanlegget.

SS ble målt etter norsk standard NS-EN 872 Vannundersøkelse - Bestemmelse av suspendert stoff- Metode med filtrering gjennom glassfiberfiltre. Det ble gjort 3 gjentak på analysene av vannprøven. Figur 10 viser oppsettet av vakuumpumpen med filterenheten.

# Membranfiltrering

---

## Biologisk oksygenforbruk

Det enn trenger:

- 14 bofflasker.
- Inkuberingkammer som holder 20 °C i 7 dager.
- Pudevann.
- Oksygen måler.
- pH måler.
- Temperatur måler.

BOF analysene ble målt etter norsk standard NS-EN 4749 Vannundersøkelse – Biokjemisk oksygenforbruk, BOD. Det ble laget 4 flasker for ”etter filtrering”, 5 flasker for ”etter sedimentering” og 5 flasker for ”inntaksvannet”. I begynnelsen av forsøket måler man oksygen i en flaske fra ”etter filtrering”, ”etter sedimentering” og ”inntaket”. Når oksygenet er målt heles disse flaskene ut. Nå settes 3 flasker for ”etter filtrering”, 4 flasker for ”etter sedimentering” og 4 flasker for ”inntaket” inn i inkuberingskammeret. Etter 4 dager tar enn ut 1 flaske for ”etter sedimentering” og 1 flaske for ”inntaket”, måler oksygenivået i disse. Er det fortsatt igjen oksygen i disse, fortsetter forsøket. Er det ikke det avslutter enn forsøket og begynner det på nytt med fortynnete løsninger. Grunnen til at ”etter filtrering” ikke blir målt etter 4 dager er at dette vannet er renere en ”inntaksvannet” og ”etter sedimentering”. Er det oksygen igjen i disse er det også oksygen i flaskene for ”etter filtrering”. Det var oksygen igjen etter 4 dager, forsøket ble avsluttet etter 7 dager.

## 4. Resultater

### Nitrogen

Ingen av prøvene viste signifikante verdier, man antar at verdiene var under deteksjonsgrensen for måleapparatet. Det ble gjort 3 analyser av samme prøve, alle analysene var under deteksjonsgrensen på 0,0 mg/l.

### Fosfor

Fosfor analysene i tabell 3 viser en nedgang fra inntaksvannet og ut fra filteret, men mellom inntaket og sedimenteringen er det en økning. Det har vært en prosentvis økning på ca 56 %, mens fra ”inntaksvannet” til ”etter filtrering” har det vært en reduksjon på ca 33,3 %. Fra ”etter sedimentering” til ”etter filtrering” har det vært en reduksjon på 57,1 %. Resultatene fra Årungen er der kun som en indikator på at inntaksvannet og vannet fra Årungen ikke avviker mye.

Tabell 3 Målte fosfor verdier

Gjentak	1	2	Gjennomsnitt
Fosfor Inntaksvannet	0,045 mg/l	0,045 mg/l	0,045 mg/l
Fosfor etter sedimentering	0,07 mg/l	0,07 mg/l	0,07 mg/l
Fosfor etter filtrering	0,03 mg/l	0,03 mg/l	0,03 mg/l
Fosfor overflaten i Årungen	0,055 mg/l	0,055 mg/l	0,055 mg/l
Fosfor 2 meters dyp i Årungen	0,055 mg/l	0,055 mg/l	0,055 mg/l

### Suspenderte stoffer

SS analysene viser at filteret har fjernet 100 % av partiklene som er større en 0,45 µm som er porediameteren til mikrofilteret som blir brukt til dette forsøket.

Tabell 4 Målte SS verdier

Gjentak	1	2	3	Gjennomsnitt
SS inntaksvannet	2 mg/l	4 mg/l	7 mg/l	4 mg/l
SS etter sedimentering	3 mg/l	4 mg/l	8 mg/l	5 mg/l
SS etter filtrering	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l

# Membranfiltrering

---

## Turbiditet

Analysene av turbiditet viser en nedgang på turbiditeten fra inntaksvannet til etter filtrering.

Vi får en økning fra inntaket til etter sedimentering, det samme som skjedde for fosfor målingene. Bruker man det gjennomsnittelige tallet får man en økning på 34,2 % fra inntaksvannet til etter sedimentering. Fra etter sedimentering til etter filtrering har man gjennomsnittelig reduksjon på 96,0 %. Fra inntaket til etter filtrering har man gjennomsnittelig reduksjon på 94,6 %.

Tabell 5 Målte turbiditets verdier

Gjentak	1	2	Gjennomsnitt
Turbiditet inntaksvannet	1,33NTU	1,65 NTU	1,49 NTU
Turbiditet etter sedimentering	1,90 NTU	2,10 NTU	2,00 NTU
Turbiditet etter filtrering	0,05 NTU	0,11NTU	0,08 NTU

## Kjemisk oksygenforbruk

KOF analysene viser det samme som fosfor og SS analysene, filteret fjerner mye av stoffene, men sedimenteringskammeret tilfører stoffer. Den prosentvise økningen eller nedgangen blir regnet ut av gjennomsnittet av de to målingene som er blitt gjort. Det er en økning på ca 62,2 % mellom ”inntaksvannet” og ”sedimenteringskammeret”, mens det er en reduksjon på ca 40,5 % mellom ”inntaksvannet” og vannet som er ”filtrert”. Det er en reduksjon på ca 63,3 % mellom ”sedimenteringskammeret” og det ”filtrerte vannet”. Tallene er hentet fra tabell 6.

Tabell 6 Målte KOF verdier

Gjentak	1	2	Gjennomsnittet
KOF inntaksvannet	15 mg/l	22 mg/l	18,5 mg/l
KOF etter sedimenterting	20 mg/l	40 mg/l	30 mg/l
KOF etter filtrering	9 mg/l	13 mg/l	11 mg/l

## BOF

Det totale biologiske oksygenforbruket i løpet av 7 dager i inkuberingskammer kan leses fra tabell 8. Her har det vært en økning av forbruket på oksygen med 1,8 mg/l som tilsvarer 72 % fra ”inntaksvannet” til ”sedimenteringskammeret”. Fra ”sedimenteringskammeret” til ”etter filtrering” har det vært en reduksjon på forbruket av oksygen med 2,6mg/l som tilsvarer 60,5 %. Reduksjonen på forbruket av oksygen fra ”inntaksvannet” til ”etter filtrering” har vært på

# Membranfiltrering

---

0,8 mg/l som tilsvarer 32 %. Tabell 7 og 8 viser innholdet av oksygen i prøvene ved oppstart og etter 7 dager i inkuberingskammer. BOF i tabell 8 er regnet ut fra tabell 7 og 8, ved å ta oksygennivået ved begynnelsen av forsøket minus oksygenivået som er igjen i prøven etter 7 dager i inkuberingskammeret. Formelen som her er brukt er: Oksygen innhold i prøven ved oppstart – Oksygen i prøven etter 7 dager i inkuberingskammer = Biologisk oksygenforbruk.

*Tabell 7 Målt oksygen mengdene i prøven i begynnelsen av forsøket.*

Oksygen innholdet i prøven for inntaksvannet	9,7 mg oksygen pr l 14,6 °C
Oksygen innholdet i prøven for etter sedimentering	12,7 mg oksygen pr l 14,7 °C
Oksygen innholdet i prøven for etter filtrering	11,8 mg oksygen pr l 14,8 °C

*Tabell 8 Målt oksygen mengden i prøven etter 7 dager i inkuberingskammer på 22 °C og det totale biologiske oksygenforbruket i prøvene. Det er regnet ut ved å ta tallene fra tabell 8 minus tallene for det som er igjen etter 7 dager i inkuberingskammeret.*

Gjentak	1	2	3	Gjennomsnittet
Oksygen innholdet i prøven for inntaksvannet	7,2 mg/l 21,4 °C	7,2 mg/l 21,5 °C	7,2 mg/l 21,6 °C	7,2 mg/l
Oksygen innholdet i prøven for etter sedimentering	8,3 mg/l 21,6 °C	8,4 mg/l 21,5 °C	8,5 mg/l 21,6 °C	8,4 mg/l
Oksygen innholdet i prøven for etter filtrering	9,9 mg/l 21,6 °C	10,1 mg/l 21,5 °C	10,4 mg/l 21,8 °C	10,1 mg/l
BOF inntaksvannet	2,5 mg/l	2,5 mg/l	2,5 mg/l	2,5 mg/l
BOF etter sedimentering	4,2 mg/l	4,3 mg/l	4,4 mg/l	4,3 mg/l
BOF etter filtrering	1,4 mg/l	1,7 mg/l	1,9 mg/l	1,7 mg/l

## 5. Diskusjon

### *5.1 Diskusjon av forsøksoppsettet*

Området på nedsiden av Fiskefjøset var en bra plassering av renseanlegget med tanke på hvor inntaksvannet kom fra.

Vanngjennomstrømning i anlegget skulle vært gjort på en annen måte. Vannet fra Årungen hadde varierende trykk, og dette førte til problemer med å holde en stabil strøm. Så skulle noe blitt gjort annerledes må det ha vært på inntaksledningen, enten gjøre så det kommer i porsjoner eller en liten vannstrøm inn til anlegget. Dette må da ikke overstige  $0,6 \text{ m}^3/\text{døgn}$ .

Det er heller ikke den mest gunstige årstiden å jobbe med Årungen vann. På denne årstiden som disse prøvene ble tatt på, er ikke Årungen så forurenset som det ofte kan være på sommeren og tidlig høst. Forsøkene som skal gjøres på Årungen bør gjøres over sommer og høstmånedene. Dette for å få en god oversikt over parametre som kan være skadelig for fisk og se om filteret klarte å forbedre disse. Det kan også være gunstig å ta ut selve filteret og sette dette i en kom som ikke rommer så mye som renseanlegget, da har man bedre kontroll på filteret og hva som går gjennom det. Gjøre forsøket på den siste måten er det beste med tanke på hvordan Fiskefjøset ønsker å bruke denne typen filtre.

Prøvetakingen fra renseanlegget. med den typen plastdunker som her ble brukt, var bra gjennomført. Det som kan ha ført til en feilkilde i prøvetakingen er at vannet skulle blitt tatt først fra inntaket, for så og analysert dette. Ventet til vannet en tok prøven på, hadde passert sedimenteringskammeret, så tatt prøver på dette, og analysert det. Til slutt ventet til vannet hadde passert filtrert, og tatt prøver på det ferdig rensede vannet. Da hadde en analysert på det samme vannet hele veien. Prøvene ble tatt på alle 3 punktene samtidig. Dette kan ha ført til variasjoner i vannkvaliteten. Selv om det er lite trolig siden det på denne årstiden er stabil kvalitet på vannet fra Årungen. Prøvene ble analysert innen to timer fra de var hentet så det skulle ikke ha noe å si på kvaliteten når analysene ble kjørt. Dette kunne vært løst ved å kjøre flere gjentak. På grunn av kuldeperioden som kom når forsøkene var i gang var dette vanskelig å få til.

## *5. 2 Diskusjon av forsøksresultatene*

Alle målte resultater viser samme trend. Inntaksvannet har lavere verdier enn etter sedimentering. Det er en reduksjon fra etter sedimentering til etter filtrering. Det er også en reduksjon fra inntaket til etter filtrering. Dette skjedde med alle målingene bortsett fra for nitrogen. Dette skyldes i all hovedsak at det på bunn av sedimenteringskammeret lå rester etter tidligere forsøk, mye av dette var råkloakk. Når vannet hadde for høy hastighet gjennom dette kammeret har det dratt med seg gammelt sedimentert materiale, dette har gjort at måleresultatene gir høyere verdier. Dette har ikke stor betydning for forsøket siden det er effekten av membranfilteret som skal måles.

### **Nitrogen**

Tallene for nitrogen er under deteksjonsverdien for måleinstrumentet, dette er høyst usannsynlig for et vann som Årungen, dette er et vann som er kategorisert som et dårlig vann. Vann i denne kategorien har et totalt oppløst nitrogen forhold på 600 – 1200 mg/l (Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann 1997). Siden WTW målingene også skulle klare å lese bundet nitrogen er det vanskelig å si hva som er årsaken til at disse måleresultatene er under deteksjonsverdi. Spesielt når man gjorde et forsøk samme dag med samme utstyr på vanlig kranvann som var iblandet salpeter. Halvliter kranvann ble blandet med en teskje salpeter. Da viste måleresultatet  $\geq 25$  mg/l nitrogen i prøven. Siden målingene for vannet med salpeter ga resultater, så noe må ha skjedd under målingene av vannet fra Årungen og fra renseanlegget. Hva dette er, er umulig å si siden bruksanvisningen til WTW-en ble fulgt, testkittet fra WTW hadde ikke gått ut på dato. Det ser heller ikke ut til at noen av kjemikaliene i prøvene skulle interferere med vannet fra Årungen.

### **Fosfor**

Vanlig konsentrasjon av fosfor for Årungen, målt 2004 fra mai til september er 0,023 og 0,029 mg/l (<http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/31590/5207-TiltaksplanArungen.pdf>) Tall for vann med kvalitet tilsvarende Årungen ligger et sted mellom 0,02 – 0,05 mg/l (Klasifisering av miljøkvalitet i ferskvann 1997). Tallene man har fått i dette forsøket har vært på 0,045 og 0,055 mg/l. Grunnen til at disse tallene er noe høyere kan være at de er tatt senere på året og dermed har det vært mindre biologisk aktivitet i vannet. Mindre biologisk aktivitet fører til mindre brukt fosfor. Resultatet på inntaksvannet og vannet hentet rett fra Årungen



# Membranfiltrering

---

viser en forskjell på 0,05 mg/l dette kan være et resultat av at inntaksledningen og stedet vannet ble hentet på er ganske langt fra hverandre og inntaksvannet til Fiskefjøset er på 3 meters dyp mens prøvene her ble hentet i overflaten og på 2 meters dyp.

Sammenligner enn med tidligere forsøk som er utført på samme filter, viser resultatene her bedre fjerning av fosfor en det gjør for tidligere forsøk. Her får man en gjennomsnittelig reduksjon på 57,1 % mens for tidligere forsøk får man en gjennomsnittelig reduksjon på 16,9 % og 27,8 % (Olsen, E. 2008). Dette kan ha sammenheng med at partiklene fosforet var bundet til i tidligere forsøk har vært mindre eller at det har vært mer oppløst fosfor i vannet prøven er tatt på.

## **Suspenderte stoffer**

Tallene for SS etter filtrering er som forventet for det rensede vannet. Membranfilteret har mindre porestørrelse en mikrofilteret som brukes til å analysere SS. Når en sammenligner tallene for SS fra dette forsøket med tidligere forsøk ser en at begge går i null etter at vannet er filtrert. Dette viser at filteret ikke har lekkasjer og at ultrafiltrering fjerner mindre partikler en mikrofiltre. SS er også viktig å få ned med tanke på fosfor som er partikkelbundet. Har man en god fjerning for SS vil også fosfor reduseres. Normale verdier for et vann som Årungen vil ligge mellom 5 – 10 mg/l (Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann 1997). Dette stemmer overens med målingen som ble gjort i dette forsøket. Det ligger litt under, det kan skyldes årstiden prøvene ble tatt.

## **Turbiditet**

Verdier for vann som Årungen er forventet å ligge mellom 2 – 5 NTU. Sammenligner man med gjennomsnittet av det som er målt for Årungen får man 1,49 NTU. Grunne til at denne ligger litt under er mest sannsynlig på grunn av årstiden prøvene ble tatt. Sammenligner man med tidligere forsøk (Olsen, E. 2008) viser en reduksjon på henholdsvis 1,64 – 0,05 NTU og 0,29 – 0,08 NTU for vann fra fiskeoppdrett. Analysene utført i dette forsøket viser en gjennomsnittelig reduksjon fra 2,00 – 0,08 NTU. Resultatene tyder på at membranfilteret klarer og få turbiditeten ned mot 0,05 – 0,08 NTU.

# Membranfiltrering

---

## **Kjemisk oksygenforbruk**

Verdier for vann av samme kvalitet som Årungen ligger mellom 6,5 – 15 mg O<sub>2</sub>/l (Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann 1997). Verdiene som ble målt for inntaksvannet fra Årungen 18,5 mg O<sub>2</sub>/l, avviker noe, dette kan være at Årungen er noe mer forurenset enn forventet. For filtreringen klarte filteret å få ned det kjemiske oksygenforbruket fra 30 – 11 mg O<sub>2</sub>/l. Dette er en prosentvis reduksjon på 63,3 %, for BOF ser vi en reduksjon på nesten samme verdi 60,5 %.

## **Biologisk oksygenforbruk**

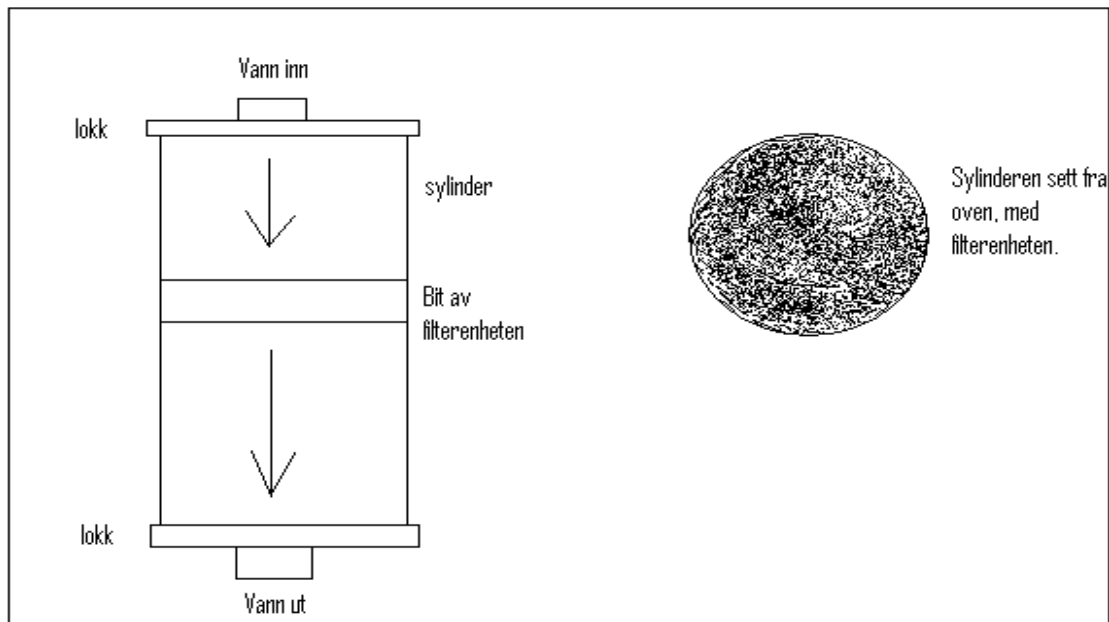
Verdier for hva som forventes og finne i Årungen er ikke å oppdrive. Det ble gjort 3 gjentak på BOF analysene. Det var ikke stor variasjon på disse på det meste pluss minus 0,3 mg/l og det var for det filtrerte vannet. Man oppnådde også gjennomsnittelig renseseffekt på 60,5 % fra etter sedimentering til etter filtrering. Dette er ikke så langt unna det man oppnådde for KOF verdiene.

## *5. 3 Hva kan gjøres videre*

Forsøkene som er beskrevet i denne oppgaven er tidkrevende, ikke minst fordi oppholdstiden i renseanlegget blir høy hvis inntaksvannet ikke skal ligge på mer enn 0,6 m<sup>3</sup> i døgnet. Videre bør enn derfor bare ta for seg membranfilteret som sitter i dette renseanlegget. En bør ta ut en bit av membranfilteret om dette er av en brukt enhet eller ny spiller ingen roll. Målet vil bli å finne ut hvor store partikler som slipper gjennom dette filteret. Feste biten av filteret i en sylinder som vist i figur 16, her har en full kontroll på det som går igjennom dette filteret. Er det brukt filtermateriale må man kanskje tilbakespyle enheten. Her kan en kjøre på med det vannet man ønsker å rense, trenger ikke ha store mengder og oppholdstiden blir satt ned betraktelig kontra det og kjøre hele renseanlegget. Nå er det lettere og gjøre målinger på forskjellige prøver og se hva filteret slipper gjennom.

En metode for å fastslå porestørrelsen til filteret er å skaffe fluoriserende plastikk kuler i forskjellige størrelser som en blander ut med vann og kjører dette vannet gjennom filteret. Så går vannet rett fra filteret og inn i et spektrofotometer som er stilt inn på absorpsjonsbølglengden til plastikkulene. Nå kan man finne ut hvor mange kuler som passerte filteret og dermed fastslå med ganske stor nøyaktighet filterets porestørrelse.

# Membranfiltrering



*Figur 16 Er en skisse av hvordan en bør sette opp filteret for å kunne teste hvor store partikler som kan gå gjennom membranfilteret. Her kan du sette trykk på vannet fra begge sider om ønskelig. På denne måten er det da mulig å tilbakespyle filteret.*

Når dette er gjort er det mulig å se om dette filteret er mulig å bruke på fiskefjøset. Med samme type oppsett bør en også kjøre prøver på vannet fra Årungen over en lang tidsperiode, helst et helt år. Hvis ikke det er mulig så i hvert fall de månedene i året hvor vannkvaliteten er på det dårligste. For da kan man se om en får ut alle uønskede stoffer fra dette vannet, spesielt med tanke på blå/grønn algene som blomstrer på sommeren og tidlig høst. Det er også viktig å gjøre mer analyser på vannet fra Årungen å se om det er noe der som kan være veldig skadelig for fisken.

En annen fremgangsmåte kan være å ta ut filterenheten sette denne ned i et kar. Lage oppsettet slik at det er mulig å overstyre filterenheten, så den kan rense når en selv ønsker. Fulle karet/kummen med vann. Regn ut oppholdstiden i karet/kummen for filteret. Når man vet oppholdstiden. Finner enn tiden det tar for alt vannet og passere filteret og dermed vet enn også over hvor lang tid enn kan ta ut prøver etter at det har gått gjennom filteret. Grunnen til at oppholdstiden må regnes ut er at en ikke kan la filteret gå tørt og da må det tilsettes vann når en kjører filteret. Nå tilsettes vannet i karet/kummen de partiklene, bakteriene, virusene

# Membranfiltrering

---

eller plastikk kuler som man ønsker å finne ut om kan passere filteret. Etter at dette er gjort startes filteret, nå må det tilsettes rent vann så ikke filteret går tørt. Da kan man ta ut prøver etter filtrering i den tiden som er oppholdstiden for det forurensede vannet. Bruker en plastikk kuler kan vannstrømmen kjøres gjennom en spektrofotometer som gjør at en kan telle kullene som passerer over den gitte tiden og dermed er det lett og lage en statistisk analyse på hvor mye som slipper gjennom filteret av en gitt størrelse.

Det bør også gjøres forsøk som er nevnt over for avløpsvannet på fiskefjøset for å se om det er mulig å bruke dette i resirkulering. Hvis det er mulig kan Fiskefjøset fortsette å bruke kommunalt vann hvis en oppnår en resirkuleringsgrad som er høy nok til at det er lønnsomt.

## *5. 4 Diskusjon angående videre arbeid for Fiskefjøset*

Resultatene ses opp mot hva som kreves fra et resirkuleringsanlegg for fiskeoppdrett ikke opp mot avløpsvann. Målet var å se om membranfiltret rensset vannet fra Årungen godt nok for bruk i Fiskefjøset.

### **Nitrogen**

For nitrogen er det umulig å si noe om hvorvidt membranfiltre av denne typen fungerer bra eller dårlig til fjerning av oppløst nitrogen fra vannet. For Fiskefjøset ville det vært meget gunstig hvis den hadde klart å fjerne TAN (totalt ammonium nitrat). Når en måler på totalt nitrogen får man tall for alle nitrogenbindinger som er i prøven. Det vil si TAN, nitrat og nitritt. Verdiene en skal holde seg under i oppdrettssammenheng er under 0,1 mg/l for nitritt og under 2 mg/l TAN (<http://www.fiskeridir.no/akvakultur/akvakulturregelverk/merknader-til-forskrift-22.-desember-2004-nr.-1785-om-drift-av-akvakulturanlegg-akvakulturdriftsforskriften>).

### **Fosfor**

Høye fosfor verdier i vannet gir ikke problemer for fisken, men det kan gi problemer med begroing i anlegget. Så det er ønskelig å få ned disse verdiene så mye som mulig. Siden fosfor er partikkelbundet skal det være mulig å fjerne store deler av dette med et membranfilter siden membranfiltre fjerner partikler på en effektiv måte. Ut fra analysene som er gjort og beskrevet i denne oppgaven viser det at et ultrafiltreringsanlegg kan i hvert fall fjerne opp til 57,1 %.

Det mulig at filteret klarer og fjerne mer en dette hvis partiklene fosforen er bundet til er

# Membranfiltrering

---

større. Eller at man bruker et filter med enda mindre porestørrelse. Fosfor er også ønskelig å fjerne hvis avløpsvannet skal renses og man får en utslipstillatelse til for eksempel Årungen.

## **SS**

Dette viser at membranfilteret klarer og fjerne SS bedre enn eksempelvis et trommelfilter, noe som i dag brukes som partikkelfjerning nede på fiskefjøset. Trommelfilteret som i dag brukes på Fiskefjøset har maskevidde 60  $\mu\text{m}$ , membranfilteret har en porestørrelse på 35 nm. Det betyr i praksis at membranfilteret fjerner mye mindre partikler enn trommelfilteret. Brukes disse etter hverandre vil man kunne oppnå en bra renseseffekt for partikler. Det er en fordel for Fiskefjøset å bruke begge disse enhetene når avløpsvannet fra Fiskefjøset skal renses, enten det er for utslipp til Årungen, eller det skal kjøres i retur.

## **Turbiditet**

Turbiditet har sammenheng med SS, det er de oppløste partiklene i prøven som gir verdien til turbiditet. Disse partiklene har også noe å si på fosforverdiene. Siden fosfor er partikkelbundet. Membranfilteret gir gode verdier for turbiditet etter at vannet er filtrert, så skal det søkes om utslipstillatelse til Årungen må fosforet bort siden dette er den begrensende faktoren for algeoppblomstringen der.

## **Muligheter for fiskefjøset**

For Fiskefjøset er det mange muligheter for bruk av membranfiltre. Man kan bruke det på inntaksvannet som det er gjort forsøk på i denne oppgaven. Dette sammen med en rensing av avløpsvannet kan gjøre så Fiskefjøset kan øke kapasiteten på vanngjennomstrømningen betraktelig. Da vil ikke kostnadene for vann være på lang nær så høye som de er i dag. Andre mulighet er å renses vannet fra Årungen inn til Fiskefjøset så renses det for å kjøre det i retur til fisken. Da må også et aerobt biofilter settes inn, siden man vil få høye verdier for nitrat og nitritt. I dette tilfellet er det også mulig å fortsette å bruke kommunalt vann siden man da vil få en høyere resirkuleringsgrad og dermed sette ned vannbehovet betraktelig. Alle disse løsningene forutsetter at man finner et membranfilter som er billig i drift og ikke krever alt for mye tilbakespyling. Siden målet er å få satt ned de totale vannkostnadene for Fiskefjøset.

## 6. Konklusjon

Nitrogenanalysene for filtrert vann var under grenseverdien for måleinstrumentet. For prøvene tatt for fosfor viste analysene at membranfilteret i gjennomsnitt klarer å redusere fosforkonsentrasjonen fra 0,07 mg/l til 0,03 mg/l. Dette gir en prosentvis reduksjon på 57,1 %. Analysene som ble utført på SS viser at membranfilteret klarer å fjerne 100 %. Dette viser at membranfilteret ikke har noen lekkasjer rundt membraner, pakninger eller lignende som er større enn 0,45 µm. Turbiditeten gikk gjennomsnittelig ned fra 2,00 NTU til 0,08 NTU, dette er en prosentvis reduksjon på 96,0 %. KOF analysene viser at membranfilteret klarer i gjennomsnitt å sette ned det kjemiske oksygenforbruket fra 30 mg/l – 11 mg/l, det er en reduksjon på 63,3 %. For analysene viste at membranfilteret klarer i gjennomsnitt og sette ned det biologiske oksygenforbruket fra 4,3 mg/l – 1,7 mg/l. Dette er en gjennomsnittelig prosentvis nedgang på 60,5 %. BOF og COF har nesten samme prosentvise nedgang i oksygen forbruket. Det kan videre konkluderes med at membranfilteret fungerer som det skal, og det er ingen lekkasjer i det. Det er lite sannsynlig at dette er den optimale løsningen for Fiskefjøset, denne typen er beregnet til å rense mindre mengder avløpsvann fra husholdninger. Det resulterer i at den ikke har på langt nær den kapasiteten som kreves på Fiskefjøset. Selv om en kunne satt flere enheter sammen burde man velge en annen løsning som har enda bedre renseeffekt og mye høyere kapasitet.

## 7. Referansliste

- Betancourt, W. Q. & Rose, J. B. (2004). Drinking water treatment processes for removal of *Cryptosporidium* and *Giardia*. *Veterinary Parasitology*, 126 (1-2): 219-234.
- Brown, C. & Russo, D. J. (1979). ULTRAVIOLET-LIGHT DISINFECTION OF SHELLFISH HATCHERY SEA-WATER .1. ELIMINATION OF 5 PATHOGENIC BACTERIA. *Aquaculture*, 17 (1): 17-23.
- Chang, I. S. & Kim, S. N. (2005). Wastewater treatment using membrane filtration - effect of biosolids concentration on cake resistance. *Process Biochemistry*, 40 (3-4): 1307-1314.
- Dancova, L., Bodik, I., Blst'akova, A., Jakubcova, Z. & Drtil, M. (2008). Long-term operation of a domestic wastewater treatment plant with membrane filtration. *Chemical Papers*, 62 (5): 451-457.
- Halle, C., Huck, P. M., Peldszus, S., Haberkamp, J. & Jekel, M. (2009). Assessing the Performance of Biological Filtration As Pretreatment to Low Pressure Membranes for Drinking Water. *Environmental Science & Technology*, 43 (10): 3878-3884.
- Jermann, D., Pronk, W., Meylan, S. & Boller, M. (2007). Interplay of different NOM fouling mechanisms during ultrafiltration for drinking water production. *Water Research*, 41 (8): 1713-1722.
- Koseoglu, H., Kabay, N., Yuksel, M. & Kitis, M. (2008). The removal of boron from model solutions and seawater using reverse osmosis membranes. *Desalination*, 223 (1-3): 126-133.
- Laine, J. M., Vial, D. & Moulart, P. (2000). Status after 10 years of operation - overview of UF technology today. *Desalination*, 131 (1-3): 17-25.
- Lee, J. D., Lee, S. H., Jo, M. H., Park, P. K., Lee, C. H. & Kwak, J. W. (2000). Effect of coagulation conditions on membrane filtration characteristics in coagulation-microfiltration process for water treatment. *Environmental Science & Technology*, 34 (17): 3780-3788.
- Li, C. W. & Chen, Y. S. (2004). Fouling of UF membrane by humic substance: Effects of molecular weight and powder-activated carbon (PAC) pre-treatment. *Desalination*, 170 (1): 59-67.
- Porter, M. C. (red.). (1990). *Handbook of industrial membrane technology*: Noyes publications.
- Singh, N., Chen, Z., Tomer, N., Wickramasinghe, S. R., Soice, N. & Husson, S. M. (2008). Modification of regenerated cellulose ultrafiltration membranes by surface-initiated atom transfer radical polymerization. *Journal of Membrane Science*, 311 (1-2): 225-234.
- Summerfelt, S. T. (2003). Ozonation and UV irradiation - an introduction and examples of current applications. *Aquacultural Engineering*, 28 (1-2): 21-36.
- Wiesmann, U., Choi, I. S. & Dombrowski, E.-M. (2007). 85441 *Fundamentals of Biological Wastewater Treatment*: Wiley VCH.
- Yiantsios, S. G. & Karabelas, A. J. (1998). The effect of colloid stability on membrane fouling. *Desalination*, 118 (1-3): 143-152.
- Noble, R. D., Stern, S. A. (1995), *Membrane Science and Technology Series 2, Membrane Separation technology Principle and Application*, Elsevier.
- Zeman, L. J., Zydney A. L. (1996), *Microfiltration and Ultrafiltration Principle and Application*, Marcel Dekker, Inc.
- Mulder, M., (1996) *Basic principles of membrane technology*, Kluwer Academic Publishers.
- Dale Newkirk, P. E., *Membrane Filtration*, California Departement of Public Health Webcast, Evaluation of Small Water Systems (2010)
- Corfitzen, C. B., Albrechtsen, H. J., Arvin, E., (2006) *Mikrobiologiske undersøgelser af effekten af UV-*

# Membranfiltrering

---

- belysning i Odense Vandselskabs ledningsnet, Institut for Miljø & Ressourcer Danmarks Tekniske Universitet
- Keong L. K., (2007) FEED SPACER OF SPIRAL WOUND MEMBRANE MODULE FOR NANOFILTRATION AND REVERSE OSMOSIS: MODELING, SIMULATION AND DESIGN
- Bodík, I., (2007) Blšťáková, A., Sedláček S., Comparison of Membrane Modules in Domestic Wastewater Treatment plant – Three Years of Test Operation
- Olsen, E. (2008) Upubliserte forsøksresultater for rensanlegget siClaro
- NS-EN 872 Vannundersøkelse - Bestemmelse av suspendert stoff- Metode med filtrering gjennom glassfiberfiltre
- NS-EN 4749 Vannundersøkelse – Biokjemisk oksygenforbruk, BOD
- TMPP 250, Forelesningsnotater kurset tmpp 250 (2009).
- TKM (24 august 2009 ), Vitenskapskomiteen for mattrygghet, Uttalelse fra Faggruppe for hygiene og smittestoffer i Vitenskapskomiteen for mattrygghet, Risikovurdering av parasitter i norsk drikkevann
- Drikkevannsforskriften FOR 2001-12-04 nr 1372
- EUs vandirektiv (2000) DIRECTIVE 2000/60/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 October 2000, establishing a framework for Community action in the field of water policy
- United States Environmental Protection Agency (2000) Office of Water (4606) EPA-816-F-00-006 February 2000 The History of Drinking Water Treatment
- Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann 1997

## 7. 1 Internet referanser

- [www.bayertechnology.com](http://www.bayertechnology.com) (2010)
- [http://www.snl.no/.versionviewdiff/336912?last\\_published=336912&selected\\_version\[id\]=2](http://www.snl.no/.versionviewdiff/336912?last_published=336912&selected_version[id]=2) (2010)
- SWDF 2010
- [http://www.safewater.org/PDFS/resourcesknowthefacts/Ultrafiltration\\_Nano\\_ReverseOsm.pdf](http://www.safewater.org/PDFS/resourcesknowthefacts/Ultrafiltration_Nano_ReverseOsm.pdf)
- <http://www.fire.tc.faa.gov/images/systems/hfm.gif> (2010)
- [http://chemeng.mcmaster.ca/search\\_results.html?cx=017110053273856412988%3Aakq6v26t6nm&q=spiral+wound+membrane&sa.x=5&sa.y=9&cof=FORID%3A11&hq=inurl%3Achemeng.mcmaster.ca#361](http://chemeng.mcmaster.ca/search_results.html?cx=017110053273856412988%3Aakq6v26t6nm&q=spiral+wound+membrane&sa.x=5&sa.y=9&cof=FORID%3A11&hq=inurl%3Achemeng.mcmaster.ca#361) (2010)
- [http://www.powellfab.com/images/simp\\_solids\\_test.gif](http://www.powellfab.com/images/simp_solids_test.gif) (2010)
- [http://www.wtw.com/media/US-USA\\_L\\_078\\_105\\_photo\\_wo\\_spectro.pdf](http://www.wtw.com/media/US-USA_L_078_105_photo_wo_spectro.pdf) (2010)
- <http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/31590/5207-TiltaksplanArungen.pdf> (2010)
- [http://www.discoverarmfield.co.uk/data/uop12/images/uop12\\_diagram-01.jpg](http://www.discoverarmfield.co.uk/data/uop12/images/uop12_diagram-01.jpg) (2010)



# Membranfiltrering

---

<sup>i</sup> *Giardia lamblia*, sitat ”Er en smittsom tarmsykdom som finnes over hele verden. Det er imidlertid vanligst i utviklingsland, der så mange som 20–30 % av befolkningen kan være smittet. Den skyldes en parasitt, protozoen *Giardia lamblia*, som lever i tolvfingertarmen og øvre del av tynntarmen hos mennesket. Hardføre cyster skilles ut i avføringen, og smitte skjer ofte gjennom forurensette drikkevannkilder, bl.a. fordi parasitten ikke fjernes med klorbehandling av drikkevannet”

([http://www.snl.no/.versionviewdiff/336912?last\\_published=336912&selected\\_version\[id\]=2](http://www.snl.no/.versionviewdiff/336912?last_published=336912&selected_version[id]=2))

<sup>ii</sup> *Cryptosporidium*, sitat ”Er slekt av sporedyr, finnes i tarmkanalen hos mennesker og en rekke pattedyr. For mennesker er *C. parvum* sykdomsfremkallende, den kan gi kraftig diaré og magesmerter som hos ellers friske mennesker oftest går over av seg selv. Hos personer med et svekket immunforsvar kan sykdommen (kryptosporidiose) gi voldsom og langvarig diaré som kan være livstruende” (<http://www.snl.no/Cryptosporidium>

<sup>iii</sup> Polymer, sitat ”Polymer er et stoff som består av molekyler med stor molekylmasse med repeterende strukturell enhet, eller monomerer, forbundet med kovalent kjemisk binding. Kjente eksempler på polymerer er plast, DNA og proteiner. Ofte brukes polymer som betydning av "plast", men polymerer utgjør en stor klasse av naturlige og syntetiske materialer med ulike sammensetninger og bruksegenskaper.”

<http://no.wikipedia.org/wiki/Polymer>.

<sup>iv</sup> Coloider, sitat ”fellesbetegnelse på stoffer i meget finfordelt tilstand. Partiklenes størrelse ligger mellom ca. en milliondels og ca. en titusendels millimeter. Stoffene sies da å være i *kolloidal tilstand*” (<http://www.snl.no/kolloider>)

COD LR

Program no.

309



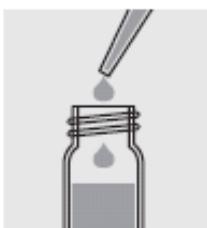
WTW model no.:	COD1 TC (LR)
Category:	KT (reaction cell test)
Cell:	16 mm
Measuring range:	0 - 150 mg/l COD

**Note:**

Before using the test with your photometer for the first time, determine the reagent blank value.



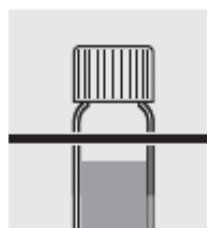
Shake the reaction cell so that sediment is suspended.



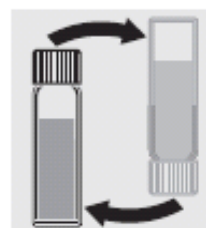
Carefully pipette 2.0 ml of sample into the cell, close with screw cap and mix vigorously. Caution, cell becomes very hot!



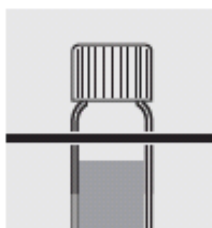
Heat the cell in the thermoreactor for two hours at 148 °C.



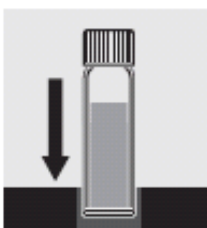
Remove the cell from the thermoreactor and let it cool down in a cell rack.



After approx. 10 min cooling time sway the cell.



Place the cell in the cell rack again and let it cool down to room temperature.



Carefully insert the cell in the photometer cell shaft and start measurement.

**Notes:**

- We recommend to determine a new reagent blank value each time when starting a new package using a reaction cell from the same package.
- The chloride content of the sample must not exceed 1000 mg/l.
- Homogenize samples containing suspended matter with a disperser.
- Before being inserted in the thermoreactor and for photometric measurements the outside of the cell must be free of any contamination (e.g. fingerprints or drops of water). Wipe the cell with a dry cloth as necessary.
- Let the cell cool down long enough (at least 45 min) before inserting it in the photometer cell shaft. The cells remain stable for a long time after reaction and can also be left overnight and then measured.
- After cooling do not rock the cell until the measurement takes place in order not to suspend the solids that formed during the reaction. Suspended matter disturbs the photometric measurement.

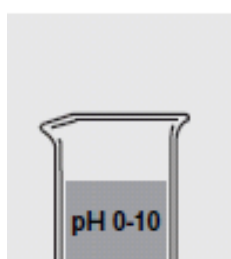
## Phosphate: Total P

Program no.

86



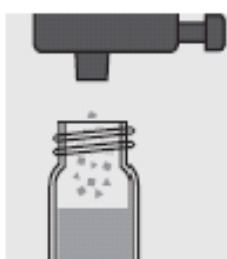
WTW model no.:	P6/25
Category:	KT (reaction cell test)
Cell:	16 mm
Measuring range:	0.05 - 3.00 mg/l PO <sub>4</sub> -P 0.15 - 9.20 mg/l PO <sub>4</sub>
	Display in mmol/l possible



Check the pH value of the sample.  
Desired range: pH 0-10.  
Correct with diluted sodium hydroxide solution or sulfuric acid as necessary.



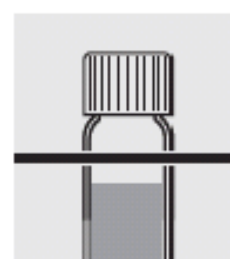
Pipette 5.0 ml of sample into a reaction cell and mix.



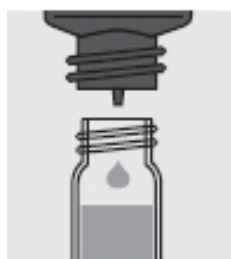
Add one dose of P-1K with the green measurer and close the cell with the screw cap.



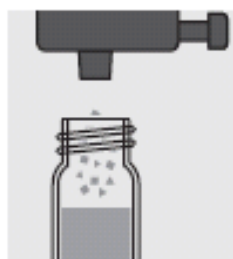
Heat the reaction cell in the thermoreactor at 120 °C for 30 minutes.



Remove the reaction cell from the thermoreactor and let it cool down to room temperature in a cell rack.



Add 5 drops of P-2K, close cell with screw cap and mix.



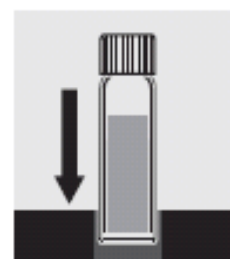
Add one dose of P-3K with the blue measurer and close the cell with the screw cap.



Shake the cell vigorously to dissolve solids.



Allow to react for 5 minutes.



Insert the cell in the photometer cell shaft and start measurement.

**Notes:**

- We recommend to determine a new reagent blank value each time when starting a new package using a reaction cell from the same package.
- In the case high levels of chloride it is recommended to swap the order of the reagents P-2K and P-3K.
- For further notes please refer to the package insert of the test.

## Nitrogen, total LR

Program no.

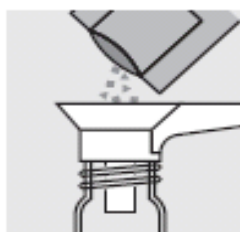
**319**



WTW model no.:	Ntot1 TC (LR)
Category:	KT (reaction cell test)
Cell:	16 mm
Measuring range:	0.0 - 25.0 mg/l N

### Note:

Before using the test with your photometer for the first time, determine the reagent blank value.



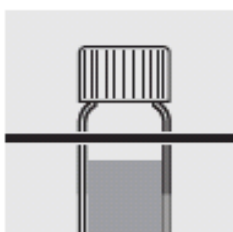
Add the contents of a **VARIO TN Persulfate Rgt.** powder pack into a **TN Hydroxide LR** digestion cell.



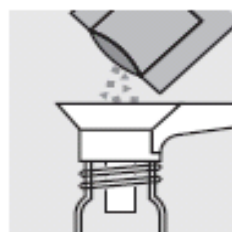
With a pipette add 2.0 ml of sample, close the cell with the screw cap and mix vigorously for at least 30 s. A small amount of solids may remain undissolved.



Heat the cell in the thermoreactor at 120 °C for 30 minutes.



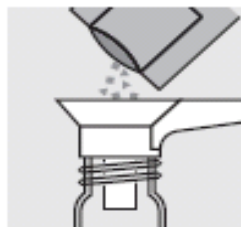
Remove the cell from the thermoreactor and let it cool down in a cell rack.



Add the contents of a **VARIO TN Reagent A** powder pack, close the cell with the screw cap and mix for at least 15 s.



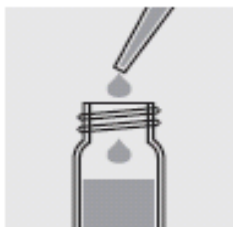
Allow to react for 3 minutes.



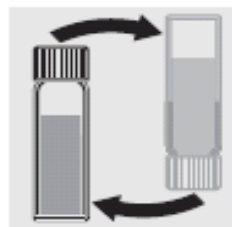
Add the contents of a **VARIO TN Reagent B** powder pack, close the cell with the screw cap and mix for at least 15 s.



Allow to react for 2 minutes.



Pipette 2.0 ml of prepared sample into a **TN Acid LR/HR (Reagent C)** reaction cell and close the cell with the screw cap.



Mix the contents by carefully swaying the cell (10 x / for approx. 30 s altogether). **Caution, the cell becomes warm!**



Allow to react for 5 minutes.



Insert the cell in the photometer cell shaft and start measurement.