

Membranseparasjon av nitrogen fra avløpsvann

Av Torleiv Bilstad, Erik Espedal og Merete Madland

Torleiv Bilstad er 1. amanuensis ved Høgskolesenteret i Rogaland. Erik Espedal og Merete Madland er ingeniører og ansatt i Norwet a.s, som er et selskap i Ugland Gruppen.

Sammendrag

Nitrogenseparasjon med revers osmose (RO) er utført på spillvann fra utslippet ved Oltedal rensesanlegg i Rogaland i perioden oktober 1990 til august 1991. Oltedal rensesanlegg behandler både kommunalt spillvann og prosessvann fra ullvareindustrien i Oltedal. Membranforsøkene benyttet både rørmembraner og spiralmembraner. Renseeffekten for Tot N var 95 % for behandling av kommunalt spillvann.

Rørmembranene krevde ingen forbehandling av fødevannet. Forsøkene med spiralmembraner benyttet 25—200 my patronfiltre som forbehandling for separasjon av tilsvarende suspenderte partikler i fødevannet til RO prosessen. Prosessvann fra ullvareindustrien hadde stor innflytelse på hyppighet og nødvendighet av kjemisk rengjøring av membranene. I perioder uten ullvarevann ble spiralmembranene rengjort hver andre dag som gav 20 l/m²/h permeatfluks ved 25 °C og 35 kg/cm² driftstrykk.

Innledning

Det Interkommunale Vann, Avløp og Renovasjonsselskap I.V.A.R. på Nord Jæren satte høsten 1989 i drift et nytt primærfellingsanlegg i Oltedal i Gjesdal kommune. Fellingskjemikaliene

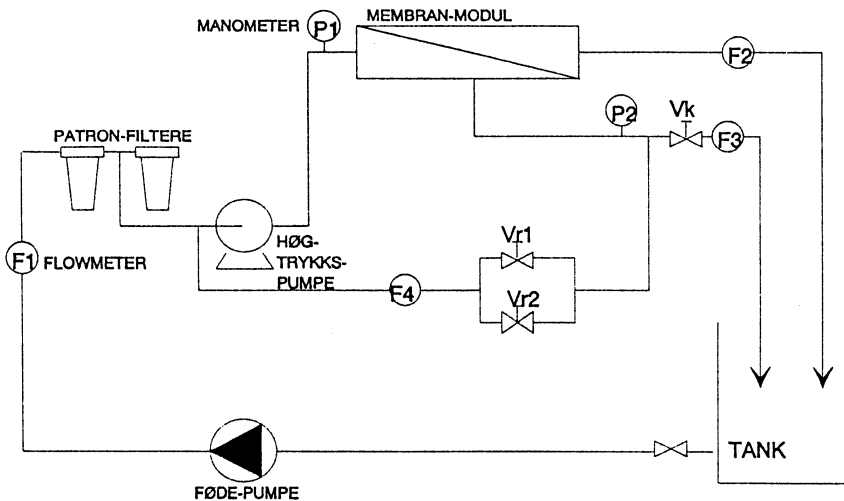
består av jernklorid (FeCl₃) og lut (NaOH). I tillegg til kommunalt spillvann behandles prosessvann fra garnfarging ved ullvareindustrien i Oltedal.

Forskningsprogrammet for fjerning av næringsstoffer i spillvann, FAN, finansierte forsøksdrift med revers osmose membranseparasjon av kjemisk rensert spillvann fra Oltedal rensesanlegg. Forsøkene ble startet høsten 1990. Pilotanlegget ble bygget av Norwet a.s som sammen med I.V.A.R. og Høgskolesenteret i Rogaland (HSR) var ansvarlig for utførelsen av prosjektet.

Forsøkene vekslet mellom bruk av RO rørmembraner og RO spiralmembraner. I de første månedene etter oppstart ble anlegget bare kjørt på dagtid for å kunne ha tilsyn med driften. I ettertid er anlegget automatisert og kjørt med kontinuerlig døgndrift.

Pilotanlegg

Figur 1 viser generelt strømningsdiagrammet for membran-pilotanlegget som rensert utslippsvann fra primærfellingsanlegget i Oltedal. Fødevæske strømte fra sentrifugalpumpen til høytrykksstempelpumpen som videre supplerte 18—20 l/min fødevæske til membranmodulen. Strøm-



Figur 1. Skjematisk oppsett av pilotanlegg for nitrogen membranseparasjon.

ningshastigheten ble avlest via rotameter F1.

Strupeventil Vk på membranens konsentratside regulerte produksjonen av permeat. Struping av konsentratstrømmen økte driftstrykket; i.e., fødevannstrykket. Høytrykkspumpen stoppet automatisk når inngangstrykket P1 og utgangstrykket P2 oversteg forutdefinerte verdier. Anlegget måtte startes manuelt.

Ved bruk av spiralmembran i pilotanlegget ble fødevannet forbehandlet gjennom 25–200 my patronfiltre. Patronfiltrene ble ikke brukt til forbehandling for rørmembraner. Permeat-produksjonen ble avlest via rotameter F2 og konsentratet via F3. Pilotanlegget hadde videre montert ventilene Vr1 og Vr2 på konsentratsiden som kunne brukes til å regulere grad av intern resirkulering av konsentrat. Disse var stengt under normal drift.

Revers osmose rørmembranene var

laget av polyamid og hver var 1219 mm lang og 12,5 mm i indre diameter. Membran-trykkhylsen inneholdt 18 av disse rørene som utgjorde totalt 0,86 m² membranflate. Væskeshastigheten gjennom rørene var 2,5 m/s.

Spiralmembranen var 1016 mm lang med hylsediameter 60 mm. Membranarealet var 2,1 m² og membranmaterialet av sammensatte polysylfoner (Thin-Film Composite).

Resultat fra membranforsøk

Rørmembraner

Høst/vinter 1990. Pilotanlegget ble første gang startet 18 oktober 1990. Anlegget var utstyrt i samsvar med Figur 1 hvor 0,86 m² rørmembraner mottok 19 l/min primærbehandlet spillvann fra Oltedal renseanlegg. Fødetrykket P1 ble satt til 55 kg/cm² som resulterte i et utgangstrykk P2 lik 52 kg/cm². Anlegget ble kjørt på dagtid

Tabell 1. Nitrogenkonsentrasjoner (ug/l) i fødevann (F) og permeat (P) fra membran-separasjon høsten 1990.

Prøve nr.	pH	Tot N	NH ₄ -N	NO ₂ + NO ₃ -N	% Tot N separasjon
F1	6,6	24100	15300	10	97
P1	5,9	832	460	3	
F2	5,9	24100	19600	519	94
P2	6,0	1770	1070	91	
F3	6,6	33500	29500	70	95
P3	6,0	2180	1310	<1	

fem dager i uken periodevis fra oktober 1990 til slutten av januar 1991.

For å simulere fullskalaforsøk ble konsentratstrømmen fra membran-anlegget i perioder ledet tilbake til fødetanken mens permeatet gikk til avløp. Dette medførte at fødevæsken gradvis ble mer konsentrert og oppvarmet. Det meste av tiden ble både konsentrat og permeat resirkulert til føde-tanken.

Rengjøring av rørmembranene ble alternativt utført med salpetersyre (HNO₃) og det alkaliske rengjørings-middelet Ultrasil 11. Tabell 1 viser nitro-genkonsentrasjoner i føde og permeat for RO forsøkene.

Sommer 1991. Prosessvann fra ullva-reindustrien i Oltedal ble behandlet sammen med kommunalt spillvann i det nye primærfellingsanlegget til I.V.A.R. Til tider førte denne kombi-nerete behandling av kommunalt spillvann og industriavløp til drifts-problem i form av slamflukt i utslipps-vannet som igjen var føde til membran-anlegget. Det ble likevel ikke gjort ytter-

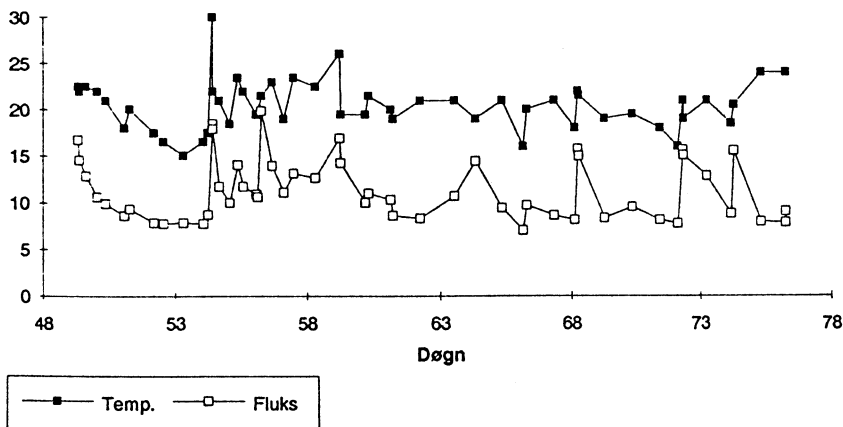
lig forbehandling av føden til rør-membranene. Figur 2 viser fluks og væsketemperatur for sommeren 1991.

Spiralmembraner

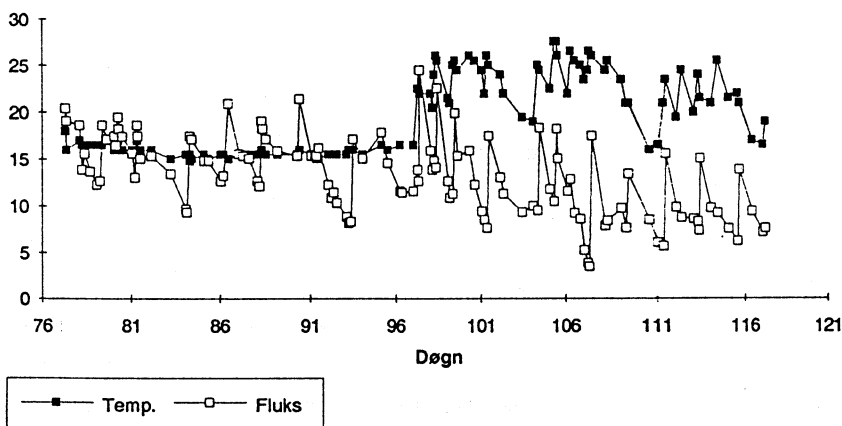
Vår 1991. Pilotanlegget ble i slutten av januar 1991 utstyrt med en 2,1 m² spiral-membran hvor fødevannet ble forbe-handlet gjennom 25—200 my patron-filter. Driften var kontinuerlig med fødestrykk P1 lik 35 kg/cm². Utgangs-trykket P2 var likeledes 32 kg/cm².

Fram til mars 1991 ble permeat og konsentrat ledet tilbake til fødetanken for membran-anlegget; i.e., full resirkuler-ling. Dette ble gjort for å etablere stabil drift av membran-anlegget uavhengig av driftsproblemene i primærfellingsanlegget oppstrøms membran-anlegget. Filterpatronen trengte således ikke utskiftning i denne perioden. Kjemisk rengjøring av membran ble heller ikke utført i denne perioden.

Fra 11 mars 1991 til 4 juni 1991 ble fødevannet til membran-anlegget tatt direkte fra utløpet fra primærfellings-anlegget. Patronfilteret er en del av spiralmembrananlegget og ble skiftet



Figur 2. *Fluks og temperaturvariasjoner sommeren 1991 (rørmembran).*



Figur 3. *Produksjon og temperatur for Fellesferien 1991 (spiralmembran).*

to—tre ganger hver uke. Det var sjelden nødvendig å foreta kjemisk rengjøring av membran i denne perioden.

Fellesferie 1991. I fellesferien 1991 ble anlegget på ny kjørt med spiralmembran hvor 25—200 my patronfiltre ble nyttet som forbehandling. Patronfiltrene ble imidlertid ikke skiftet i denne perioden

idet primærfellingsanlegget ikke hadde slamflukt. Derimot ble patronfiltrene tidvis spylt med vann. Prosessvann fra ullvareindustrien ble ikke produsert i fellesferien og dette bedret vesentlig driften ved primærfellingsanlegget. Fluksverdier og temperaturer for Fellesferien 1991 er plottet i Figur 3.

Diskusjon

Det er utprøvd både rørmembraner og spiralmembraner i forsøkene ved Oltedal renseanlegg. Kvaliteten av produktvannet (permeatet) er teoretisk uavhengig av membranutforming. I praksis vil imidlertid permeatet påvirkes av driftsparametre slik som type forbehandling, væskeshastighet, væsketrykk og beleggdannelse på membranflatene. Det er derfor ikke grunnlag for en direkte sammenligning av resultatene fra de to membranutforminger; rørmembranene ble drevet med 55 kg/cm² inngangstrykk og uten forbehandling mens spiralmembranene hadde 35 kg/cm² inngangstrykk etter forbehandling av spillvannet gjennom patronfiltre. Bare i Fellesferien 1991 ble det kjørt med kommunalt spillvann uten prosessvann fra ullvareindustrien. I den videre diskusjon vil derfor resultatene fra de to membranutforminger holdes adskilt.

Rørmembraner

Høst/vinter 1990. Resultatene fra høsten 1990 viste at fluksen stort sett varierte i takt med temperaturen i fødevæsken. Grovt regnet ligger produksjonsfluksen ved 25 °C på 25 l/m²/h. Det ble foretatt kjemisk rengjøring etter 37 timers drift fordi reintvannsfluksen var begynt å synke. Produksjonsfluksen hadde de første 37 timene vært relativt konstant, og steg heller ikke vesentlig etter rengjøringen. Det gjorde imidlertid reintvannsfluksen. Reintvannsfluksen er en god parameter for å evaluere membranens tilstand og derfor også virkningen av kjemisk rengjøring på membranflaten.

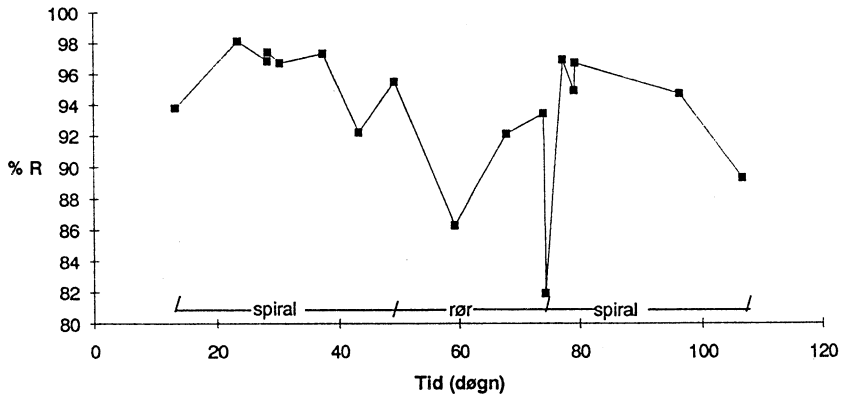
Reduksjon av nitrogenkomponenter fra føde til permeat er fra 93—97 % (Tabell 1). NH₄ komponenten i Tabell 1

utgjør mellom 63 og 88% av Tot N i fødevannet. Det antas videre at NH₃ komponenten er minimal idet pH 6 verdien tilsier dette.

Det ble gjort en satsvis oppkonsentrering av fødevannet i noen av høst/vinter forsøkene 1990 uten at det kunne påvises konsekvenser for fluksverdier eller separasjonsgrad av nitrogen. Temperaturvariasjonene maskerte fullstendig antydning til både kvantitative og kvalitative påvirkninger ved oppkonsentrering av fødeveske i ovennevnte tilfeller.

Sommer 1991. Den vesentlige forandring fra tidligere forsøk høst/vinter 1990 besto i at fødevannet ikke ble resirkulert. Væsketemperaturene var derfor relativt konstant ved 20 °C. Normalisert til 25 °C ble fluksen 12—18 l/m²/h. Dette var en vesentlig lavere produksjon enn tilsvarende forsøk høsten/vinteren 1990 som gav 25 l/m²/h ved 25 °C. Reintvannsfluksen sommeren 1991 var også lavere enn tilsvarende for høsten/vinteren 1990.

Driften de fire ukene sommeren 1991 var ustabil. Hovedårsakene var at driften ved primærfellingsanlegget var ustabil slik at fødevannet til RO anlegget varierte i kvalitet. Prosessvann fra ullvareindustrien i Oltedal gjorde at renseeffektene ved primærfellingsanlegget varierte sterkt. Rørmembranene hadde ingen forbehandling etter primæranlegget og det var naturlig at fluksverdiene avspeilet variasjoner i fødevannskvalitet. Membranflatene ble sterkt utsatt for beleggdannelse med kontinuerlig nytt fødevann sammenlignet med resirkulering av permeat og konsentrat. Figur 4 viser at RO permeatkvaliteten også ble påvirket av driftsproblemer ved primærfellingsan-



Figur 4. Tot N separasjon (%) fra RO membranforsøk i Oltedal 1990—1991.

legget. Tot-N renseeffektene ble redusert i denne perioden sammenlignet med resultatene vist i Tabell 1.

Spiralmembraner

Våren 1991. De to første ukene ble både permeat og konsentrat fra RO anlegget kjørt i resirkulering til fødetanken. Patronfiltrene som var forbehandling til membranenheten ble derfor lite belastet. Fluksen holdt seg svært stabil i disse ukene; ca. 25 l/m²/h normalisert til 25 °C. Resirkulering gjennom pumpene gjorde at den faktiske fødetemperaturen stabiliserte seg på 40 °C og gav en fluks på over 55 l/m²/h.

De påfølgende ukene ble fødevannet til RO anlegget tatt direkte fra utløpet til primærfellingsanlegget via patronfiltre som forbehandling. På grunn av tilført ullvareprosessvann til primærfellingsanlegget ble driften av hovedrenseanlegget svært ustabil som igjen gjenspeilte driften av membrananlegget. Patron-

filtrene gikk fort tett og dette førte ofte til driftsstans idet høytrykkspumpen automatisk stoppet.

Fellesferie 1991. De tre første ukene av denne perioden, døgn 77—97, er den mest representative periode av alle forsøkene idet prosessvann fra ullvareindustrien ikke ble tilført primærfellingsanlegget. Anlegget var basert på rensing av bare kommunalt spillvann. Fra døgn 97, etter fellesferien, ble ullvarevann igjen behandlet sammen med kommunalt spillvann. Figur 3 viser tydelig effekten av ullvann. I perioden 77—97 døgn er spillvannstemperaturen til RO anlegget konstant rundt 16 °C med tilhørende fluks 10—20 l/m²/h. Membranene ble kjemisk rengjort hver andre dag. Rene membraner gav fluks rundt 20 l/m²/h. Etter to dagers bruk var fluksen redusert til 10 l/m²/h ved 16 °C. Ved å betrakte gjennomsnittfluksen lik 15 l/m²/h ved 16 °C mellom rengjøringer, blir den normaliserte design fluks 20 l/m²/h ved 25 °C.

Fra døgn 97 tilsier Figur 3 at noe har

skjedd. Fellesferien var slutt og ullvaskevann forstyrret igjen driften av både primærfellingsanlegget og membranlegget. Temperaturen av RO fødevannet steig til mellom 20 og 25 °C og fluksen ble redusert til mellom 5 og 20 l/m²/h avhengig av hyppighet av membranrengjøring. Det var tydelig at ullvare prosessvann ikke gav stabil drift av hverken primærfellingsanlegget eller det påfølgende membranlegg. Rensegraden i fellesferien var god; tilnærmet 100 % for KOF og rundt 95 % for Tot N.

Konklusjoner

Renseanlegget i Oltedal kan bare i fellesferien hvert år defineres som er kommunalt renselanlegg. Prosessvann fra ullvareindustrien utgjør ellers om året et vesentlig bidrag av råvannstilførselen til primærfellingsanlegget. Dette resulterer i nedsatte renses effekter inkludert slamflukt i utslippsvannet.

Nitrogenseparasjon med RO spiral-membran var 95 % effektiv i fellesferien 1991. Det var i denne representative perioden ikke nødvendig å skifte patronfiltre. Skylling av disse i vann ble derimot gjort hver andre dag. Likeledes ble membranene kjemisk rengjort hver andre dag for å opprettholde fluksen rundt 20 l/m²/h ved 25 °C og 35 kg/cm² fødetrykk. Rentvannsfluksen etter rengjøring viste at tiltetting av membranflaten var reversibel.

Kjemisk rengjøring av spiral-membranene besto i å sirkulere 0,1 % NaOH gjennom disse ved 30 °C i 45 minutter påfølgende av 0,5 % HCl ved 45 °C i 45 minutter.

Nitrogenseparasjonen var over 90 % for bruk av rørmembraner. Imidlertid er rør membraner upraktiske ved behandling av store vannmengder sammenlignet med spiral-membraner. De er både plasskrevende og krever store økonomiske investeringer.

Det er viktig med både forbehandling og kjemisk rengjøring av spiral-membraner for å holde stabil fluks over tid. Rørmembraner trenger derimot ikke forbehandling men må kjemisk rengjøres for å kontrollere membrantil-tetting.

En usikkerhet i separasjonspro-sessen ligger i behovet for ytterligg for-behandling av det kjemisk felte spill-vann oppstrøms membranlegget. Det bemerkes at RO ikke gir spesifikk separasjon av nitrogen. Alle salter, molekyler og partikler generelt separe-res mer eller mindre effektivt sammen-liknet med 95% renses effekten for nitrogen.

«Slamproduksjonen» eller konsen-tratvolumstrømmen fra membran-separasjon er beregnet til å være i størrelses-orden 10% av fødestrømmen. NH₄⁺ er i konsentratet og er foreslått separert fra dette via luft eller dampavdrivning (stripping). NH₃ avgassen blir deretter absorbert i, for eksempel, H₂SO₄ som igjen danner (NH₄)₂SO₄.

Referanse

Bilstad, T. (1992). Membranseparasjon av Nitrogen fra Avløpsvann, FAN R-8/92, SFT.