

# Rensing av meieriavløpsvann

## Forsøk i pilot- og laboratorieskala

Av Bjørn Rusten, Hallvard Ødegaard, Ola Eide og Øivind J. Bøgh.

Bjørn Rusten er seniorforsker i Aquateam - Norsk vannteknologisk senter a.s og professor ved Institutt for vassbygging, NTH. Hallvard Ødegaard er professor ved Institutt for vassbygging, NTH.

Ola Eide er forskningssjef for biokjemiteknikk i Norske Meierier.

Øivind J. Bøgh er seksjonssjef miljø i Norske Meierier.

### 1. Innledning

Som en del av sitt miljøprogram har Norske Meieriers FoU-avdeling tatt initiativet til og finansiert forsøk med forskjellige metoder for rensing av meieriavløpsvann. Norske Meierier ønsket å teste biologiske og kjemiske renseprosesser i laboratorie- og pilot-skala. Det ble laget et forsøksopplegg hvor nye prosesser ble testet med konvensjonelle prosesser som referanse.

To biologiske renseanlegg, som begge benyttet biofilmprosesser, ble testet i pilot-skala. Med biofilmprosesser kan man velge om man vil bygge et slamseparasjonstrinn på meieriet eller eventuelt la slammefølgen med avløpsvannet til et kommunalt anlegg for å bli separert der. For meieriet er det en fordel at man slipper å håndtere slammefølgen, dersom kommunen aksepterer sistnevnte løsning. Det norske firmaet Kaldnes Miljøteknologi A/S (KMT) har utviklet en ny reaktortype, hvor biofilmen vokser på små plastbiter som strømmer rundt i reaktoren på grunn av den turbulens som oppstår ved lufting av vannet. Denne nye KMT-reaktoren ble testet med en New-Line biorotor som referanse.

Kjemisk rensing av næringsmiddelavløp er eller har vært i bruk ved flere norske bedrifter. Erfaringene er imid-

lertid begrenset til bruk av metallsalter som koaguleringsmiddel (Rusten m.fl. 1986, 1990). Dersom man ønsker å gjenvinne proteinet i det kjemiske slammefølgen for bruk i dyrefôr, bør man bruke andre koagulanter. Det danske firmaet APV Pasilac har utviklet et batch-anlegg hvor CMC (karboksymetylcellulose), brukes som koagulant og slammefølgen separeres ved flotasjon. Norske Meierier ønsket å teste anlegget fra APV Pasilac. Som referanse ble det besluttet å bruke et batch flotasjonsanlegg i laboratorieskala. Med laboratorieanlegget er det mulig å teste flere koagulanter på relativt kort tid. For å få et optimalt forbruk av koagulant er det vanlig å justere pH ved tilsetning av svovelsyre. Norske Meierier ønsket blant annet å bruke laboratorieanlegget til å teste pH-justering med melkesyre som et alternativ til svovelsyre.

### 2. Forsøksopplegg

#### 2.1 Generelt

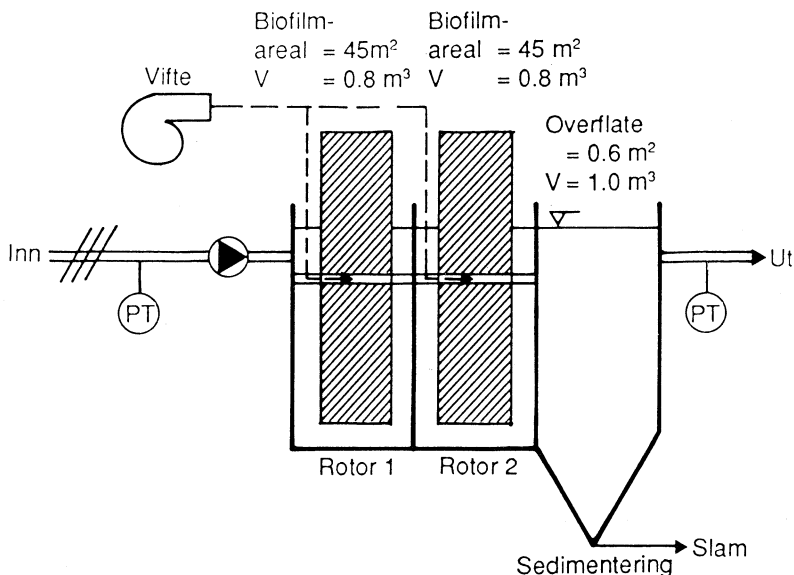
Forsøkene ble utført ved Fellesmeieriet i Oslo. Dette er et konsummelkmeieri med spesialprodukter. Forsøksanleggene var plassert i en oppvarmet og isolert plasthall. Meieriavløpsvann ble pumpet fra nøytraliseringstanken på Fellesmeieriet og til en overløpskasse i plasthallen. Fra overløpskassa

gikk vannet med selvfall gjennom en grovsil og til en pumpeump. Fra denne pumpeumpen ble vannet pumpet til de forskjellige pilot-anleggene. For å simulere realistiske driftsforhold ble pilotanleggene tilført meieriavløpsvann fra kl. 0500 til 2200 fra mandag til og med fredag. Anleggene ble ikke tilført vann om natta og i helgene.

## 2.2 Biologisk rensing med biorotor

Det ble brukt en New-Line biorotor, utlånt fra Brevik Trading A/S. Figur 1 viser et flytskjema for prosessen, med påførte biofilmareal, tankvolum, sedimenteringstankens overflateareal og prøvetakingspunkter for vannprøver.

Biorotorskivene er ca. 2/3 neddykket



Figur 1. Flytskjema for New-Line biorotoranlegg slik det ble kjørt i testen med meieriavløpsvann. Prøvetakingspunkter er merket PT.

i vann. Rotasjonen besørjes av luft, som blåses inn i sentrum av biorotorskivene. Rotasjonshastigheten vil være avhengig av vannivået i reaktoren, luftmengden og hvor mye begroing man har på skivene. Produzenten hevder at luftinnblåsingen sikrer en uniform biofilmtykkelse og eliminerer mulighetene for igjengroing inne i biorotoren.

Vannføringen inn på biorotoren varierte fra ca. 231/h til ca. 851/h, tilsva-

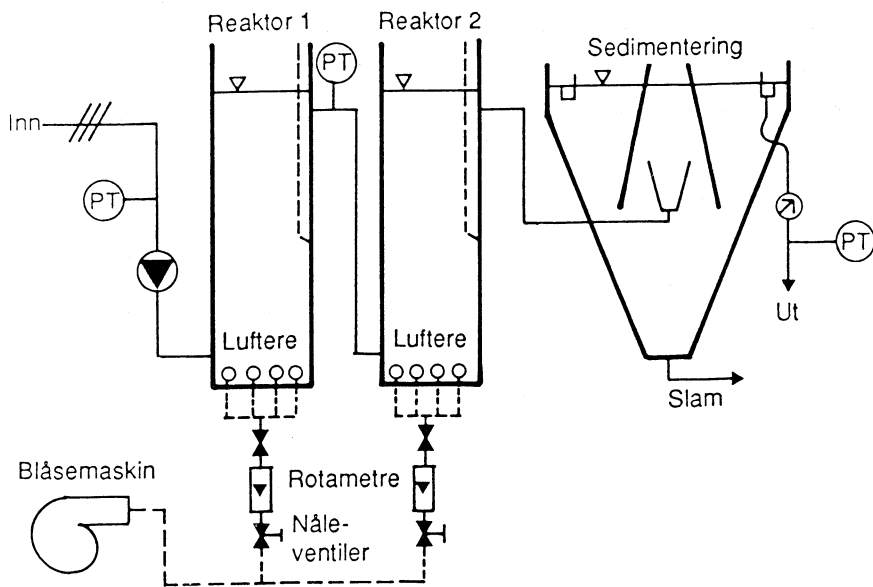
rende hydrauliske oppholdstider i de to biologiske trinnene fra 1,1 til 4,1 døgn. Den organiske belastningen, målt på ukeblandprøver, ble variert fra 0,88 til 3,1 g total COD pr. m<sup>2</sup> biofilmareal og time (g COD<sub>T</sub>/m<sup>2</sup>h).

## 2.3 Biologisk rensing med KMT-reaktor

Kaldnes Miljøteknologi A/S (KMT) bygde et prototyp pilot-anlegg for disse forsøkene med rensing av meieriavløpsvann. Flytskjema er vist i figur 2,

mens diverse tekniske data er gitt i tabell 1. KMT-anlegget baserer seg på en biofilmprosess. Biofilmediet består av små plastbiter av polyetylen.

Plastens egenvekt er noe mindre enn for vann, slik at plastbitene svømmer rundt i bioreaktoren på grunn av den turbulens som skapes ved innblåsing



Figur 2. Flytskjema for KMT-anlegg, slik det ble kjørt i testen med meieriavløpsvann. Prøvetakingspunkter er merket PT.

Bioreaktor:	Antall	2
	Lengde	0,6 m
	Bredde	0,6 m
	Vannndyp	1,65 m <sup>3</sup>
	Volum	0,53 m <sup>3</sup>
	Innvending biofilm-areal	146 m <sup>2</sup>
Sedimenterings-basseng:	Brutto overflate	2,25 m <sup>2</sup>
	Volum	1,5 m <sup>3</sup>

Tabell 1. Tekniske data for KMT pilot-anlegg.

av luft. For å holde plastbitene på plass i reaktoren er det foran utløpsrøret plassert en sildeuk.

Vannføringen, basert på ukemiddelverdier, varierte fra ca. 95 l/h til 300 l/h, tilsvarende hydrauliske oppholdstider fra 3,5 til 11,2 timer i de to bioreaktorene. Den organiske belastningen, målt på ukeblandprøver, varierte fra 286 til 977 g total COD pr. m<sup>3</sup> bioreaktorvolum og time (g COD<sub>T</sub>/m<sup>3</sup>h). Basert på døgnprøver var belastningen helt oppe i 2860 g COD<sub>T</sub>/m<sup>3</sup>h. Hver bioreaktor ble normalt tilført 18–30 Nm<sup>3</sup> luft pr. time.

## 2.4 Kjemisk rensing

### 2.4.1 Jar-test flotasjonsanlegg

Tabell 2 viser hvilke kombinasjoner av kjemikalier som ble testet. Begrunnelsen for valg av kjemikaliekombinasjoner er følgende: Jernklorid og pH-justering med svovelsyre brukes på

de fleste fullskala anlegg (Ødegaard, 1985, Rusten m.fl., 1986). Slammet fra disse anleggene anses imidlertid som uegnet til dyrefôr. Alwatech A/S markedsførte tidligere en prosess hvor man brukte svovelsyre og Ultrazine (lignosulfonsyre). En av fordelene med Alwatech sin prosess skulle være at slammet kunne brukes til dyrefôr. APV-Pasilac har utviklet en prosess hvor man bruker svovelsyre og CMC. APV-Pasilac anser slammet fra denne prosessen som velegnet til dyrefôr, forutsatt at råvannet man renser har en akseptabel sammensetning. Norske Meieriers FoU-avdeling ønsket å teste melkesyre som et alternativ til svovelsyre for pH-justering ved bruk av CMC. Fra et fôr-synspunkt kan en organisk syre være bedre enn en mineralsyre.

Flotasjonen ble utført med 10–20% dispersjonsvann. Ved beregning av renseeffekter har vi korrigert for tilsetningen av rent dispersjonsvann.

Alt.	pH-justering	Flokkulant
1.	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	JKL
2.	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ultrazine
3.	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CMC
4.	Melkesyre	CMC

**JKL = jernklorid, 180 mg Fe/ml**

**CMC = karboksymetylcellulose**

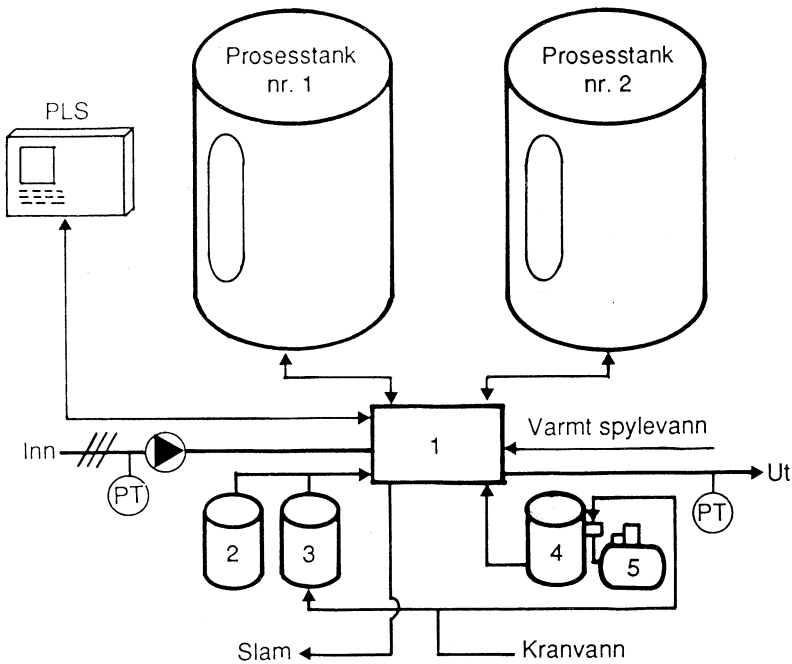
Tabell 2. Kjemikalier brukt i jar-test flotasjonsanlegg.

### 2.4.2 APV flotasjonsanlegg

Flotasjonsanlegget var et nedskalert industrianlegg av typen APV-Pasilac ZEDA 88 og det er skissert i figur 3. Dette er et batch-anlegg med to prosess-tanker, som fylles opp annenhver gang. Hver prosessstank hadde en diameter på ca. 1,4 m og kunne behandle inntil 2,5 m<sup>3</sup> avløpsvann pr. batch. Forbruket av

kranvann vil avhenge av hvordan anlegget drives. I gjennomsnitt hadde vi et forbruk av kranvann på 10–15% av tilført mengde avløpsvann.

Flotasjonsanlegget var PLS-styrt. Det ble drevet slik at pH i prosessstanken ble justert til 4,2 med svovelsyre, før flokkulant (ca. 8 mg/l CMC) ble tilsatt og flotasjonen startet.



- |                           |                       |
|---------------------------|-----------------------|
| 1 Pumpe- og ventilbatteri | 4 Dispersjonsvanntank |
| 2 Svovelsyretank          | 5 Kompressor          |
| 3 CMC-tank                | PT Prøvetakingspunkt  |

Figur 3. Prinsippskisse av batch flotasjonsanlegg av typen APV-Pasilac ZEDA 88.

## 2.5 Meieriavløpsvannets sammensetning

Råvannets temperatur og pH ble målt kontinuerlig og skrevet ut på papirstrimler. I produksjonsperiodene lå temperaturen i råvannet stort sett mellom 20 og 40°C, med ekstremverdier fra 15 til 45°C. Normalt hadde vi pH-verdier i råvannet mellom pH = 5 og pH = 10. Det ble imidlertid målt ekstremverdier fra pH = 3,5 til pH = 12. Det meste av tiden lå pH-verdien på den alkaliske siden.

Karakterisering av råvannet, basert på vannkjemiske analyser av ukeblandprøver og døgnblandprøver er vist i tabell 3. Medianverdien for total COD viser en konsentrasjon på 3200–3300 g/m<sup>3</sup>. Det var imidlertid relativt store variasjoner fra uke til uke, og spesielt fra dag til dag. Vi registrerte døgnutslipp med konsentrasjoner opptil 2,5 ganger høyere enn medianverdiene for organisk stoff. Disse variasjonene er det svært viktig at man tar hensyn til ved dimensjoneringen av et renseanlegg.

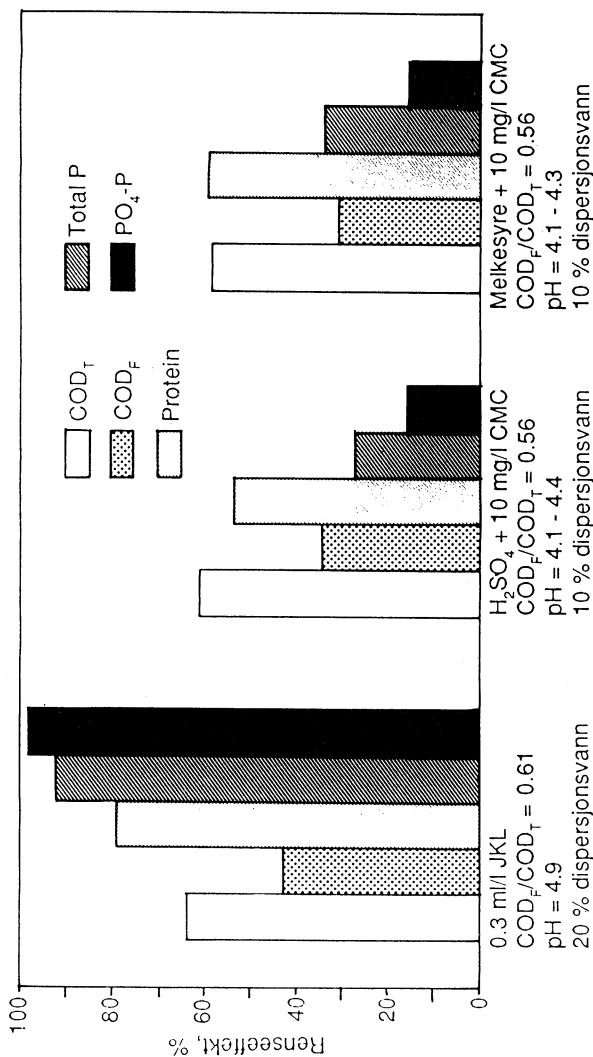
	Ukeblandprøver				Døgnblandprøver			
	Median	Maks.	Min.	n.	Median	Maks.	Min.	n.
Total COD, g/m <sup>3</sup>	3190	4730	1420	22	3310	8200	1070	44
Filtrert COD, g/m <sup>3</sup>	1050	2290	650	22	1410	3546	433	36
Total BOD <sub>7</sub> , g/m <sup>3</sup>	1950	2200	1670	3				
Filtrert BOD <sub>7</sub> , g/m <sup>3</sup>	970	1100	640	3				
Total BOD <sub>7</sub> -COD	0,59	0,65	0,52	3				
Filtrert BOD <sub>7</sub> -COD	0,74	0,75	0,56	3				
Total P, g/m <sup>3</sup>	6,7	12,1	4,4	18	8,5	26,4	1,0	31
Total N, g/m <sup>3</sup>	43	46	33	3				
Suspendert stoff (SS), g/m <sup>3</sup>					820	3000	220	28
Fett, g/m <sup>3</sup>					690	1900	270	16

Tabell 3. Karakterisering av urensset meieriavløpsvann fra Fellesmeieriet i Oslo i perioden fra uke 13 til uke 37, 1990, basert på vannmengdeproporsjonale døgnprøver og ukeblandprøver. Meieriet er et konsummelkanlegg med spesialprodukter.

### 3. Kjemisk rensing

Forsøkene med jar-test flotasjonsanlegget viste at bruk av Ultrazine ga dårligst resultat. Denne prosessvarianten ble derfor ansett som minst interessant. Stolpediagrammet i figur 4 oppsummerer hvilke renseseffekter vi oppnådde ved koagulering under optimale forhold med de tre andre kjemikaliekombinasjonene.

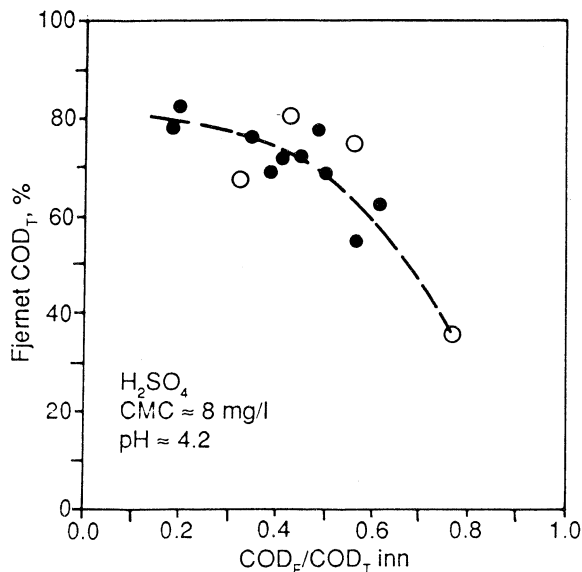
binasjonene. JKL fjernet 2—3% mere total COD enn  $H_2SO_4$  + CMC, som igjen fjernet 2—3% mere total COD enn melkesyre + CMC. Protein ble fjernet mer effektivt med JKL enn med de to andre kjemikaliekombinasjonene. Felling med JKL var den eneste av prosessene som fjernet betydelige mengder fosfor.



Figur 4. Oppsummering av renseseffekter oppnådd ved koagulering av ferskt meieritavløpsvann under optimale forhold i jar-test flotasjonsanlegg.

Forholdet mellom konsentrasjonen av løst ( $COD_F$ ) og totalt ( $COD_T$ ) organisk stoff har stor betydning for hvilken renseseffekt man kan oppnå i et kjemisk renseanlegg. Figur 5 viser renseseffekter oppnådd med APV-anlegget, som funksjon av råvannets  $COD_F/COD_T$

$COD_T$ -forhold. Det ble brukt en CMC-dose på 8 mg/l og pH ble justert til 4,2. APV-anlegget oppnådde gode renseseffekter, med 70–80% reduksjon av total COD når  $COD_F/COD_T$ -forholdet i råvannet var lavere enn 0,5.



Figur 5. Renseseffekt med hensyn på total COD ved behandling av ferskt meieriavløpsvann i et APV flotasjonsanlegg. Hvert datapunkt representerer en ukeblandprøve.

Flokkulant	Dose-ring	pH-justering	Ønsket pH	Dispersjonsvannmengde
JKL	0,3 ml/l	$H_2SO_4$ eller NaOH	4,5 - 5,5	20 %
CMC	6-10 mg/l	$H_2SO_4$	4,0 - 4,3	10 %
CMC	6-10 mg/l	Melkesyre	4,1 - 4,3	10 %

Tabell 4. Forslag til fellings-, koagulerings- og flotasjonsbetingelser for kjemisk rensing av avløpsvann fra konsummelkeierier med spesialprodukter.



Basert på forsøksresultatene har vi i tabell 4 satt opp et forslag til fellings-, koagulerings- og flotasjonsbetingelser for kjemisk rensing av meieriavløpsvann med et  $COD_F/COD_T$ -forhold på ca. 0,6.

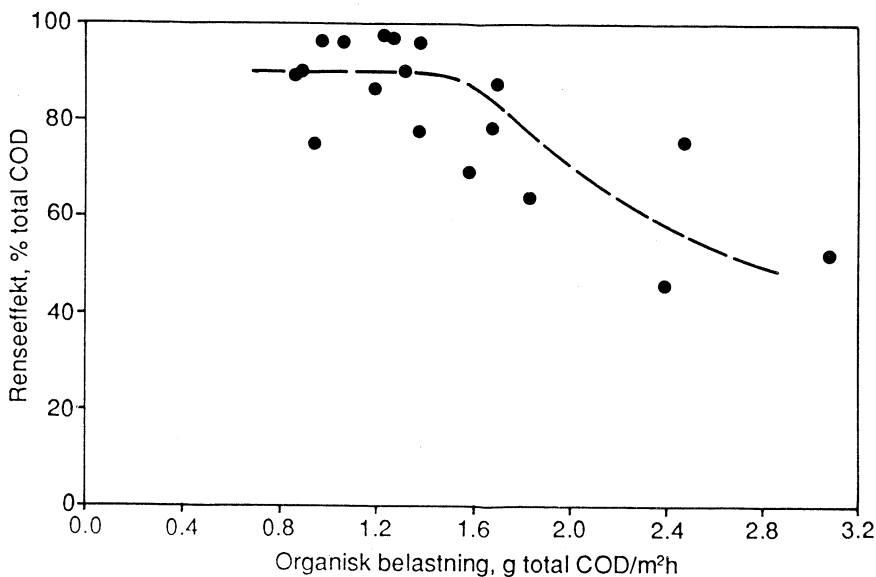
Tabell 4 bekrefter at standard driftssett for APV-anlegget ligger i det optimale området både med hensyn på pH og CMC-dosering. APV sitt konsept er velegnet for fjerning av COD og anlegget fungerte meget bra rent prosessmessig.

Bruk av melkesyre som et alternativ til svovelsyre for pH-justering, er imidlertid svært interessant. Spesielt dersom det er en fordel med melkesyre med tanke på bruk av slammet til dyrefôr. Jar-testene viste at bruk av melkesyre ga renseeffekter som bare var ubetydelig lavere enn ved bruk av svovelsyre. Prosessene med bruk av melkesyre bør derfor studeres nærmere.

Det er viktig å være klar over de store variasjonene i meieriavløpets sammensetning. Som middelverdi over uken varierte  $COD_F/COD_T$ -forholdet fra under 0,2 til nærmere 0,8. Når vi vet at renseeffekten er avhengig av  $COD_F/COD_T$ -forholdet, må vi akseptere store variasjoner i renseeffekt. I praksis betyr dette at et kjemisk renseanlegg ikke til enhver tid vil klare å oppfylle et krav om f.eks. delrensning tilsvarende 60% reduksjon av COD.

#### 4. Biologisk rensing

For praktisk dimensjonering av biologiske renseanlegg er det vanlig å angi renseeffekten med hensyn på organisk stoff som en funksjon av anleggets organiske belastning. Figur 6 viser New-Line biorotorens fjerning av total COD som funksjon av organisk

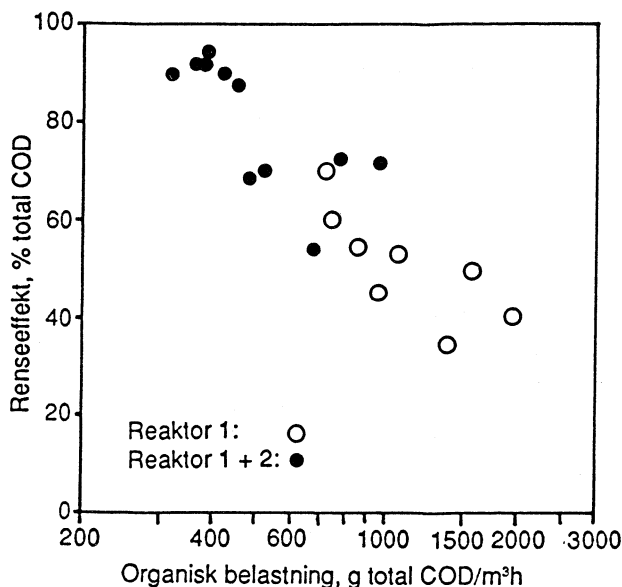


Figur 6. Renseeffekt som funksjon av total organisk arealbelastning for New-Line biorotor.

belastning relatert til biorotorens biofilmareal. Figur 7 viser KMT-anleggets fjerning av total COD som funksjon av organisk volumbelastning. Belastnin-

gen relatert til anleggets biofilmareal (g total COD/m<sup>2</sup>h) finnes ved å dividere volumbelastningen med 276.

Så lenge man ikke har oksygen-



Figur 7. Renseeffekt som funksjon av total organisk volumbelastning for KMT-anlegget.

begrensning, kanaldannelse eller gjengroing av mediet bør alle biofilmreaktorer fungere tilnærmet like godt ved lik organisk arealbelastning. Dette var også tilfellet med våre to biologiske pilot-anlegg. Biorotoren oppnådde 85% renseseffekt med hensyn på total COD ved en belastning på 1,6 g total COD/m<sup>2</sup>h. KMT-reaktoren oppnådde samme renseseffekt ved en belastning på 500 g total COD/m<sup>3</sup>h, tilsvarende 1,8 g total COD/m<sup>2</sup>h.

Ved høyere belastninger vil biorotorer normalt få et underskudd av oksygen, mens oksygentilførselen til KMT-anlegget kan reguleres ved å blåse inn mere luft. På grunn av oksygenbegrens-

ningen var den høyeste observerte nedbrytningshastigheten i biorotoranlegget på 1,87 g total COD/m<sup>2</sup>h. I KMT-anlegget målte vi nedbrytningshastigheter helt oppe i 2,85 g total COD/m<sup>2</sup>h. Dette betyr at på arealbasis hadde KMT-anlegget en maksimalkapasitet som var over 50% høyere enn for biorotoren, og KMT-anlegget hadde derfor bedre forutsetninger for å takle perioder med unormalt høye belastninger.

Den hydrauliske oppholdstiden i rensenanleggene er viktig for å kunne vurdere bioreaktorenes plassbehov. Den biorotoren vi testet trengte ekstremt lang oppholdstid fordi den hadde lite

biofilmareal pr. volumenhet. KMT-anlegget hadde mye biofilmareal pr. volumenhet og klarte seg derfor med svært korte oppholdstider. Forsøkene viste at KMT-anlegget klarte seg med ca. 1/3 av det bioreaktorvolumet man trengte i et tradisjonelt dykket biologisk filter med stasjonært filtermedium (Rusten & Ødegaard, 1986).

Resultatene fra pilot-forsøkene med

New-Line biorotor og KMT-reaktorer er sammenfattet i tabell 5. Tabellen viser hvilke organiske arealbelastninger og hydrauliske oppholdstider som var nødvendig for å oppnå gjennomsnittlige renseseffekter på henholdsvis 60% og 85% for total COD. KMT-reaktorene var noe mere arealeffektive og betydelig mere volumeffektive enn biorotoren.

	60 % COD-red.		85 % COD-red.	
	Org. belastn.	Hydr.opph.tid	Org. belastn.	Hydr.opph.tid
New-Line biorotor	2,5 g COD <sub>T</sub> /m <sup>2</sup> h	1,7 døgn	1,6 g COD <sub>T</sub> /m <sup>2</sup> h	2,7 døgn
KMT-reaktorer	3,2 g COD <sub>T</sub> /m <sup>2</sup> h	4 timer	1,8 g COD <sub>T</sub> /m <sup>2</sup> h	7 timer

Tabell 5. *Arealbelastninger og hydrauliske oppholdstider i biofilmanleggene for å oppnå henholdsvis 60% og 85% reduksjon av total COD.*

## 5. Konklusjon

Hvilke rensesprosesser og hvilket utstyr man skal velge ved rensing av meieriavløpsvann vil være avhengig av hvilken utslippstillatelse man har i hvert enkelt tilfelle, hvordan slammet skal disponeres og investerings- og driftskostnadene for de respektive rensenhetene. Alle de tre testede pilotanleggene fungerte bra rent prosessmessig og representerer teknologi som

vil være aktuell ved rensing av meieriavløpsvann.

KMT-reaktoren må betraktes som en nyvinning ved at den gjør det mulig å rense meieriavløpsvann biologisk ved svært korte oppholdstider. Vår vurdering er at KMT-reaktorene burde bli meget attraktive, forutsatt at produsenten klarer å holde en konkurransedyktig pris.

## 6. Referanser

- Rusten, B. and Ødegaard, H. (1986). Treatment of food industry effluents in aerated submerged biological filters. *VATTEN*, Vol. 42, pp. 187—193.
- Rusten, B., Eikebrokk, B. and Thorvaldsen, G. (1986). Chemical Treatment of Food Industry Effluents. Proceedings 9th Intern. Symp. on Wastewater Treatment, Montreal, Canada, Nov. 11—12, pp. 1—17.
- Rusten, B., Eikebrokk, B. and Thorvaldsen, G. (1990). Coagulation as pretreatment of food industry wastewater. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 22, No. 9, pp. 1—8.
- Ødegaard, H. (1985). Behandling av næringsmiddelindustriens avløpsvann. *NTNF INDRENS Veiledning* nr. 7.