

Kostnader for nitrogenfjerning fra kommunalt avløpsvann.

Av Egil Skjelfoss.

Egil Skjelfoss er sivilingeniør og ansatt i Østlandskonsult A/S.

1. Innledning

Som en del av det 3-årige forskningsprogrammet om fjerning av næringsstoffer (FAN-programmet) er det gjennomført en omfattende kostnadsvurdering av en del utvalgte behandlingsmetoder for nitrogenfjerning. Arbeidet omfatter både biologiske og fysisk-kjemiske metoder.

Hovedmålet med kostnadsvurderingene har vært å klarlegge hvilke metoder det er mest aktuelt å arbeide videre med i Norge hvor vi har et tynt og kaldt avløpsvann. Så langt vi kjenner til er det ikke utført beregninger av tilsvarende omfang i andre land som samtidig dekker de spesielle forhold vi har i Norge.

Et tilleggsmål med arbeidet har vært å fremskaffe kostnadsgrunnlag som kan benyttes i forbindelse med soneplanlegging, og til bruk ved sammenligning av tiltak innen landbruk i forhold til den kommunale sektor.

Kostnadsberegningene er utført av ØSTLANDSKONSULT A/S og presentert i egen rapport (11). I det etterfølgende er det gitt en kortfattet orientering om arbeidets omfang og resultater.

2. Arbeidets gang

2.1 Behandlingsmetoder

Det er utført beregninger for ialt fire

biologiske prosess-alternativer og tre fysisk-kjemiske.

Følgende biologiske alternativer var valgt ut:

- * 1-slam fordenitrifisering med aktivt slam
- * 1-slam etterdenitrifisering med aktivt slam
- * Fordenitrifisering med dykkede biologiske filtre
- * Etterdenitrifisering med dykkede biologiske filtre

Forenklet flyteskjema for de valgte alternativer er vist i fig. 1. Metodene er nærmere beskrevet i egen FAN-rapport (1).

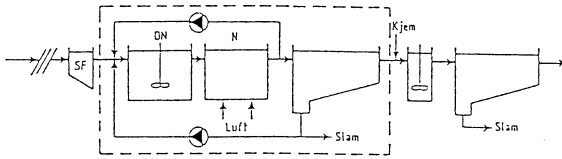
De tre fysisk-kjemiske metodene som inngikk i beregningene var:

- * Luftstripping
- * Membranseparasjon og dampstripping
- * Ionebyttning

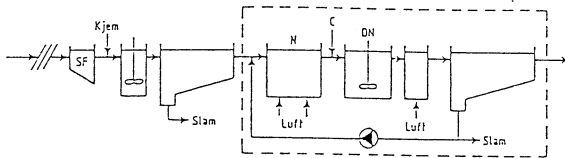
Forenklete flyteskjemaer for de tre prosessene er vist i figurene 2, 3 og 4. Alle tre prosessene er basert på at avløpsvannet først har passert et kjemisk rensetrinn som er utelatt på figurene.

Ved de biologiske prosessene ligger det kjemiske rensetrinnet dels foran,

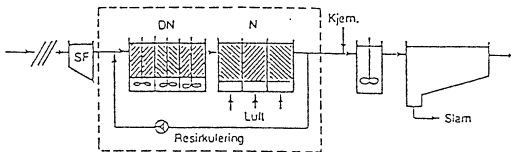
1-SLAM FOR-DENITRIFISERING MED AKTIVSLAM



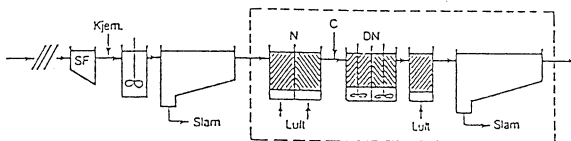
1-SLAM ETTER-DENITRIFISERING MED AKTIVSLAM



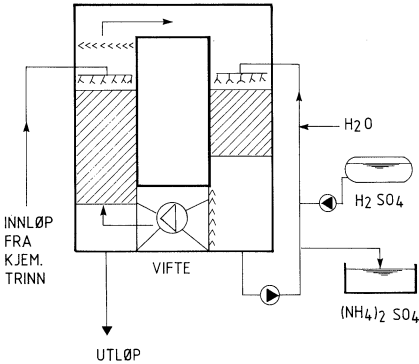
FOR-DENITRIFISERING MED DYKKEDE BIOLOGISKE FILTRE



ETTER-DENITRIFISERING MED DYKKEDE BIOLOGISKE FILTRE



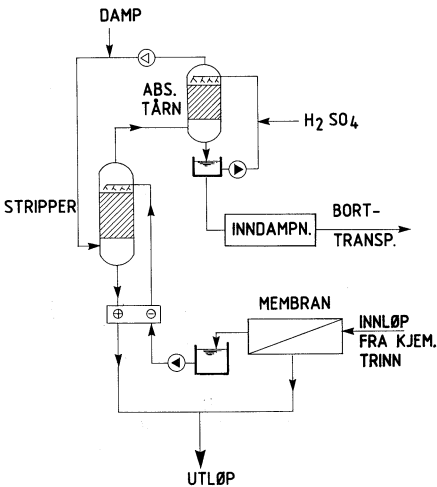
Figur 1. Biologiske metoder.



Figur 2. Luftstripping.

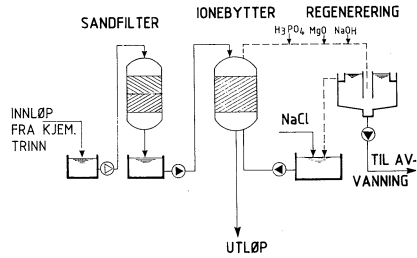
dels etter nitrogenfjerningstrinnet. Dette fremgår av fig. 1 hvor nitrogentrinnet er innrammet.

Det er gitt en grundig beskrivelse av luftstripping, membranseparering og ionebytting som metoder for nitrogenfjerning i de oppførte referanser. Nærmere omtale gis derfor ikke her.



Figur 3.

Membranfiltrering og dampstripping.



Figur 4. Ionebytting.

Ved dampstripping utnyttes dampen både til å overføre NH_2 til gassform og videre til å avskille gassen fra væskefasen. Absorpsjon av gassen skjer på samme måte som ved luftstripping.

I Norge benyttes dampstripping til nitrogenfjerning av Norsk Hydro som har bistått med dimensjonering og kostnadsgrunnlag for dette prosessalternativet.

2.2 Anleggsstørrelser og spesifikke vannmengder

Alle metodene er kostnadsberegnet for to anleggsstørrelser:

- 10.000 personekvivalenter
 - 50.000 personekvivalenter
- og to spesifikke vannmengder (inkl. fremmedvann)
- «Normalt» vann: 400 l/p.d.
 - «Tynt» vann: 800 l/p.d.

3. Renseeffekt

De beregnede kostnader er relatert til forventet N-reduksjon i %. Som utgangspunkt for beregning av forventet renseseffekt er det benyttet en spesifikk nitrogenproduksjon på 12 gr/pd. Dette gir følgende konsentrasjoner av totalnitrogen i rensenanleggets innløpsvann:

Ved «normalt» vann (400 l/p.d.):

30 gr. tot.N/m³

Ved «tynt» vann (800 l/p.d.):

15 gr. tot.N/m³

På bakgrunn av analyseresultater fra Sverige og Norge er det videre benyttet

følgende fordeling av organisk bundet nitrogen og ammoniumnitrogen:

		N-konsentrasjoner		
		Org-N	NH ₄ -N	Tot-N
Innløp	«Normalt» vann	14	16	30
	«Tynt» vann	7	8	15
Etter forfelling	«Normalt» vann	8	20	28
	«Tynt» vann	4	10	14

Ved de biologiske metoder har den oppgitte fordelingen liten betydning fordi organisk bundet nitrogen der raskt omdannes til ammoniumnitrogen som er grunnlaget for videre nitrifikasjon og denitrifikasjon.

Ved de fysisk-kjemiske metoder er forholdet annerledes. Etter forfelling foreligger 8 gr/m³ (henholdsvis 4 gr/m³) som organisk bundet nitrogen.

Det er tvilsomt om noe av det organisk bundne nitrogen omdannes i de fysisk-kjemiske prosesser slik at det vil bli fjernet. Det betyr at maksimal teoretisk nitrogenreduksjon som kan oppnås ved de fysisk-kjemiske metoder inklusive reduksjon i forfelling der ved blir:

$$\frac{30 - 8}{30} \times 100 = 73.3\%$$

I praksis kan man ikke drive restkonsentrasjonen av NH₄-N helt ned til null. Dette tilsier at maksimal renseeffekt ved de fysisk-kjemiske metoder vil ligge godt under 70%. Eksempelvis vil man

ved «tynt» vann og en utgående restkonsentrasjon på 2 gr/m³ NH₄-N oppnå en renseeffekt på:

$$\frac{15 - (4 + 2)}{15} \times 100 = 60\%$$

4. Kostnader

4.1 Basisforutsetninger

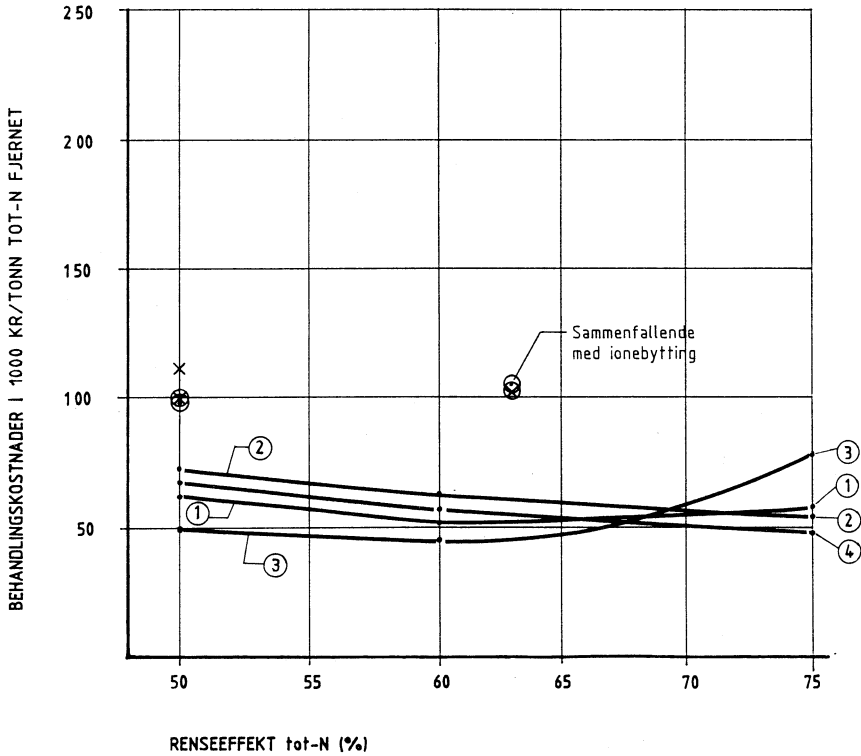
Ved beregningene er det forutsatt at det tidligere er bygget et komplett kjemisk renseanlegg eventuelt at dette bygges samtidig med etablering av nitrogenfjerningen. Alle kostnader som naturlig hører med til det kjemiske renseanlegget inklusive forbehandling, slambehandling og nødvendige grunnlagsinvesteringer er holdt utenfor kostnadsberegningene. De presenterte kostnadene representerer derfor bare tillegget som nitrogenfjerningen utgjør.

Alternativene er dimensjonert for en vanntemperatur på 5° C. Dette tilsvarer omtrent laveste innløpstemperatur på større renseanlegg her i landet. De ulike metodenes reaksjonshastighet

ANLEGGSTØRRELSE: 50.000 p.e.
 SPESIFIKK VANNMENGDE: 400 l/p.d. (ALT. II)

KURVE: 1: AKTIV SLAM FØRDNITRIKASJON
 " 2: AKTIV SLAM ETTERDNITRIKASJON
 " 3: BIOFILM FØRDNITRIKASJON
 " 4: BIOFILM ETTERDNITRIKASJON

- ⊙ LUFTSTRIPPING
- × IONEBYTTING
- ⊗ MEMBRANSEPARERING OG DAMPSTRIPPING

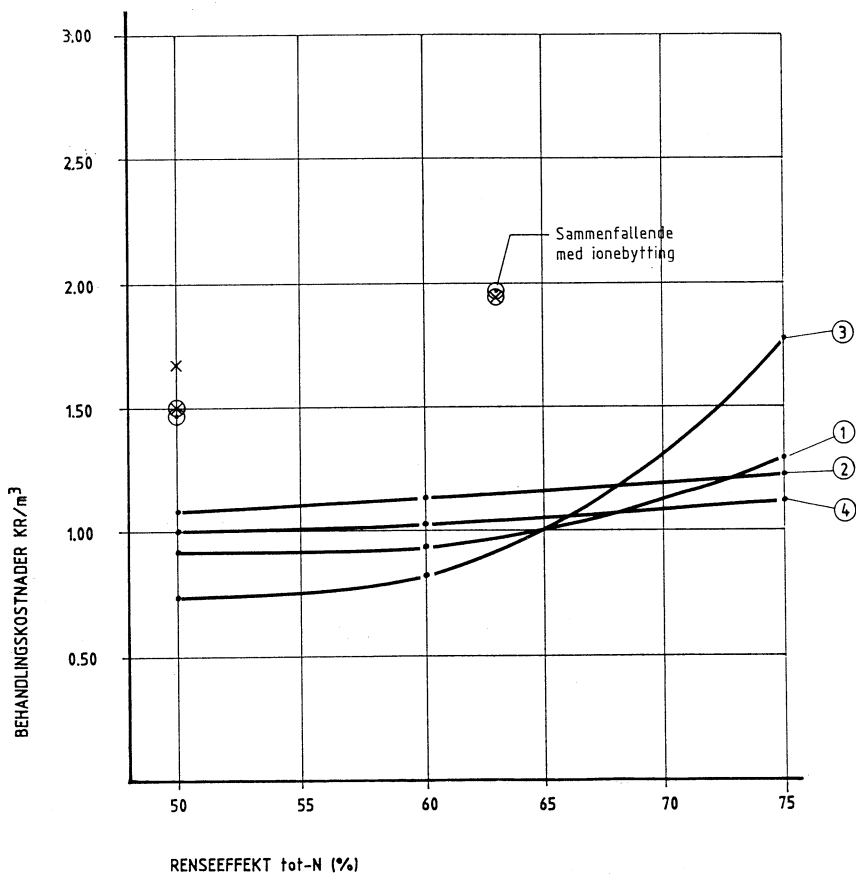


Figur 5.

ANLEGGSTØRRELSE: 50.000 p.e.
 SPESIFIKK VANNMENGDE: 400 l/p.d. (ALT. II)

KURVE: 1 : AKTIV SLAM FORDENITRIKASJON
 " 2 : AKTIV SLAM ETTERDENITRIKASJON
 " 3 : BIOFILM FORDENITRIKASJON
 " 4 : BIOFILM ETTERDENITRIKASJON

⊙ LUFTSTRIPPING
 × IONEBYTTING
 ⊗ MEMBRANSEPARERING OG DAMPSTRIPPING

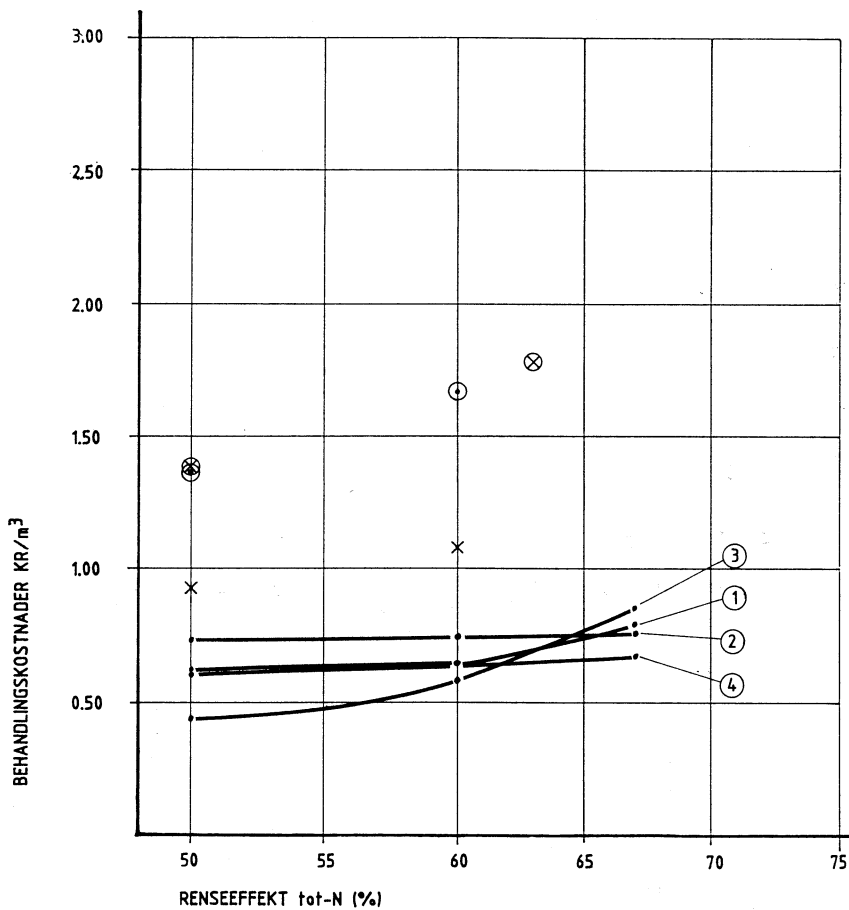


Figur 6.

ANLEGGSTØRRELSE: 50.000 p.e.
 SPESIFIKK VANNMENGDE: 800 l/p.d.(ALT. I)

KURVE: 1 : AKTIV SLAM FORDENITRIKASJON
 " 2 : AKTIV SLAM ETTERDENITRIKASJON
 " 3 : BIOFILM FORDENITRIKASJON
 " 4 : BIOFILM ETTERDENITRIKASJON

⊙ LUFTSTRIPPING
 × IONEBYTTING
 ⊗ MEMBRANSEPARERING OG DAMPSTRIPPING

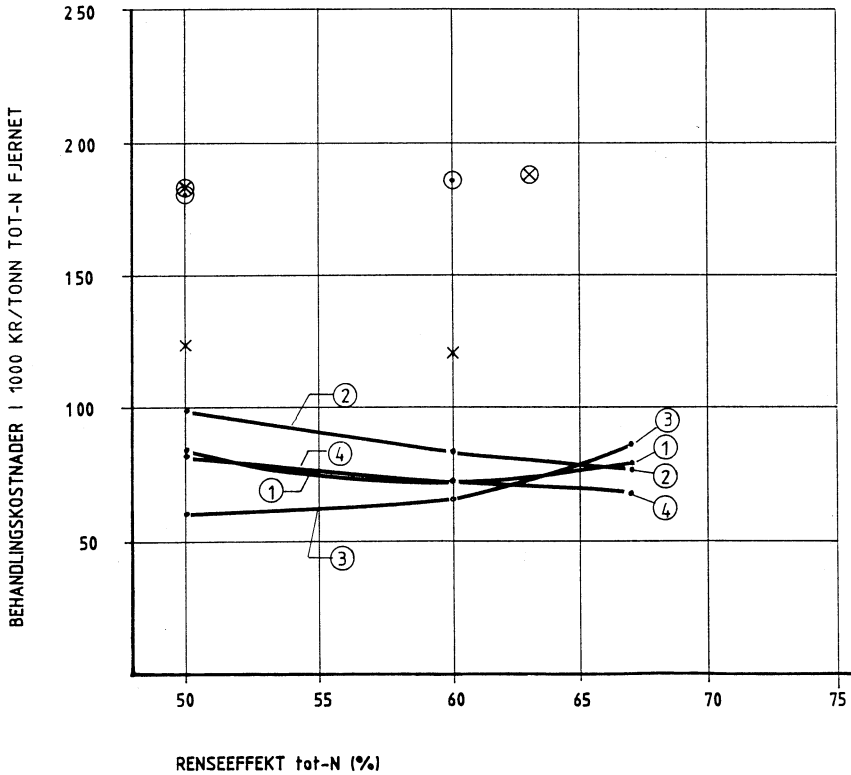


Figur 7.

ANLEGGSTØRRELSE: 50.000 p.e.
 SPESIFIKK VANNMENGDE: 800 l/p.d. (ALT. I)

KURVE: 1 : AKTIV SLAM FORDENITRIKASJON
 " 2 : AKTIV SLAM ETTERDENITRIKASJON
 " 3 : BIOFILM FORDENITRIKASJON
 " 4 : BIOFILM ETTERDENITRIKASJON

○ LUFTSTRIPPING
 × IONEBYTTING
 ⊗ MEMBRANSEPARERING OG DAMPSTRIPPING



Figur 8.

og effektivitet vil variere noe innbyrdes når temperaturen stiger over 5° C. Dette forhold ble ikke gjort til gjenstand for nærmere vurdering under beregningene.

Det ble videre bestemt at alle viktige enheter i nitrogenfjerningstrinnet skulle ha minst 2 parallelle linjer.

Alle kostnader er oppgitt i 1990-års kroneverdi.

4.2. Resultater

For de beskrevne prosessløsninger, anleggsstørrelser og spesifikke vannmengder er det regnet ut kostnader pr. m³ rensat vann og kostnader pr. tonn fjernet nitrogen. Resultatene for anleggsstørrelse 50.000 pe er vist i diagramform på fig. 5, 6, 7 og 8 (diagrammene for anleggsstørrelse 10.000 viser samme innbyrdes forhold mellom behandlingsmetodene, og 25—35% høyere spesifikke kostnader). Av diagrammene vil man se at de biologiske metodene er billigst uavhengig av effekt og spesifikk vannmengde.

Beregningene av de biologiske metodene er utført med noe større nøyaktighet ($\pm 15\%$) enn de fysisk-kjemiske (± 20 — 25%). Allikevel mener vi at resultatene gir grunnlag for å fastslå som en generell konklusjon at de biologiske metoder er økonomisk gunstigere enn de fysisk-kjemiske.

Før man kan ta stilling til valg mellom de biologiske alternativer må flere forhold trekkes inn i vurderingen. Eksempler på slike forhold er:

- * Hvilken gjennomsnittlig renseseffekt som skal oppnås.
- * Karboninnhold i innkommende avløpsvann.
- * Tilpasningsmuligheter til eksisterende rensenanlegg.

- * Størrelse på fremmedvannmengder og temperatur på innløpsvannet.

For de biologiske metodene er det beregnet kostnader for renseseffekter på 50%, 60% og 67/75%. Årsaken til at man ikke har gått høyere enn til 67% ved det «tynne» avløpsvannet er at dette krever en utløpskonsentrasjon som er lavere enn 5 gr. Tot-N/m³. Etter FAN-gruppens mening er det høyst tvilsomt om man kan oppnå dette. For det «normale» avløpsvannet tilsier 75% renseseffekt en utløpskonsentrasjon på 7,5 gr. Tot-N/m³.

Ved de fysisk-kjemiske metodene er det beregnet kostnader for 50% og 60/63% renseseffekt. Årsaken til at det er vekslet mellom 60% og 63% er at deler av kostnadsberegningene var utført av andre institusjoner/firmaer før arbeidet med denne rapporten ble påbegynt.

Kostnadene som er presentert for de biologiske metodene forutsetter at sedimenteringsbassengene overbygges. Under arbeidet ble det også vurdert hva det innebærer om overbygg sløyfes. Resultatene viser at dette utgjør fra 10 til 20 øre/m³ ved anleggsstørrelse 10.000 pe og fra 7 til 14 øre/m³ ved 50.000 pe.

5. Sluttkommentar

Som nevnt innledningsvis har den primære hensikt med dette arbeidet vært å få frem en økonomisk sammenlikning mellom flere metoder for nitrogenfjerning. For å begrense arbeidet er det valgt et sett med forutsetninger (vanntemperatur, nitrogeninnhold etc.) som er lagt til grunn for arbeidet. Det er videre akseptert at resultatene har en begrenset nøyaktighet ($\pm 15/25\%$).

Vi påpeker dette for å unngå at resultatene benyttes til å beregne tiltak ved anlegg hvor forholdene eller krav til nøyaktighet avviker fra det som er lagt til grunn for dette arbeidet.

Kostnadskurvene for de biologiske metoder er trukket opp på grunnlag av et minimalt antall beregnede verdier.

Kurveforløpet mellom punktene er derfor basert på skjønn og vil av den grunn være noe usikkert. Vi presiserer dette og advarer mot å ekstrapolere kurvene fordi det ikke er foretatt noen beregninger for å kontrollere hvordan kurvene vil forløpe mot høyere eller lavere renses effekter.

6. Referanser

- (1) Rusten, B.: «Fjerning av nitrogen i kommunale rensesanlegg ved hjelp av biologiske metoder». Aquateam, 14. desember 1988. Forprosjektrapport FAN-F 1/88.
- (2) Bilstad, T.: «Nitrogenfjerning ved hjelp av membranteknikk». Norwet A/S, desember 1988. Forprosjektrapport FAN-F 3/88.
- (3) Bilstad, T.: «Membranseparasjon av nitrogen fra spillvann. Forslag til prosess-oppbygging». Norwet A/S, september 1989. Notat FAN-N 7/89.
- (4) Fettig, J.: «N-fjerning fra avløpsvann ved ionebytting. Forslag til prosessoppbygging». SINTEF-NHL, 13. juni 1989. Notat FAN-N 5/89.
- (5) Fettig, J.: «N-fjerning fra avløpsvann ved ionebytting. Endelig forslag til prosessoppbygging. SINTEF-NHL, 11. september 1989. Notat FAN-N 6/89.
- (6) Brattebø, H.: «Kostnadsanalyse av ionebytting for N-fjerning fra avløpsvann». ØSTLANDSKONSULT A/S, desember 1989. Notat FAN-N 9/89.
- (7) Erga, O. og Juliussen, O.: «N-fjerning fra avløpsvann. Vurdering av strippeprosess». SINTEF - Tekn. kjemi, 26. mai 1989. Notat FAN-N 3/89.
- (8) Juliussen, O.: «N-fjerning fra avløpsvann. Grunnlag for kostnadsevaluering av strippeprosess». SINTEF - Tekn. kjemi, 21. juni 1989. Notat FAN-N 4/89.
- (9) Juliussen, O.: «N-fjerning fra avløpsvann. Kostnadsberegning av luftstripping». SINTEF - Tekn. kjemi, 27. desember 1989. Notat FAN-N 10/89.
- (10) Skjelfoss, E.: «Metoder for nitrogenfjerning. Foreløpige kostnadsberegninger». ØSTLANDSKONSULT A/S, april 1990. Notat FAN-N 14/90.
- (11) Skjelfoss, E.: «Metoder for nitrogenfjerning. Kostnadsberegninger». ØSTLANDSKONSULT A/S, september 1990. Rapport FAN-R 2/90.