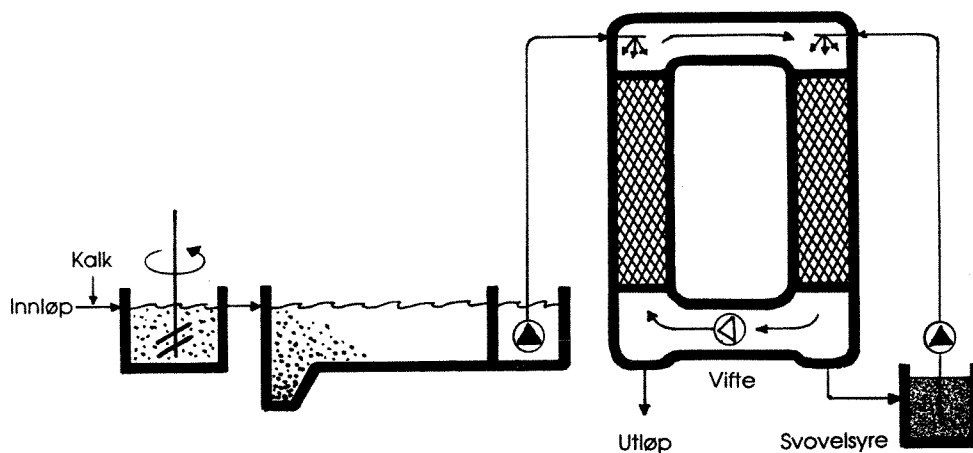


E-88416

Fjerning av nitrogen fra kommunalt avløpsvann i en integrert avdrivnings- og absorpsjonsprosess



NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Hovedkontor Postboks 69, Korsvoll 0808 Oslo 8 Telefon (02) 23 52 80 Telefax (02) 39 41 89	Sørlandsavdelingen Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (041) 43 033 Telefax (041) 43 033	Østlandsavdelingen Rute 866 2312 Ottestad Telefon (065) 76 752 Telefax (065) 78 402	Vestlandsavdelingen Breiviken 5 5035 Bergen-Sandviken Telefon (05) 95 17 00 Telefax (05) 25 78 90
--	---	--	--

Prosjektnr.: E-88416
Undernummer:
Løpenummer: 2412
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: Fjerning av nitrogen fra kommunalt avløpsvann i en integrert avdrivnings- og absorpsjonsprosess.	Dato: 16. februar 1990
Forfatter (e): Helge Liltved (NIVA) Lasse Vråle (CHK)	Prosjektnummer: E-88416
Medarbeidere: Carl Henrik Knudsen (CHK) Knut Arne Pettersen (NIVA)	Faggruppe: Kommunale forurensninger
	Geografisk område: NORGE
	Antall sider (inkl. bilag): 28

Oppdragsgiver: NIVA	Oppdragsg. ref. (evt. NTFN-nr.):
------------------------	----------------------------------

Ekstrakt:

Fjerning av nitrogen fra kommunalt avløpsvann ved ammoniakkavdrivning til atmosfæren er tidligere utprøvd i forsøks- og fullskala anlegg. Driftsproblemer og innvendinger mot NH_3 -utslipp til luft er rapportert. Representanter fra konsulentfirmaet siv.ing. Carl-H. Knudsen A/S og Norsk institutt for vannforskning har utført forsøk med en lukket avdrivningsprosess hvor NH_3 blir absorbert og gjenvunnet i syre. Resultatene viste at i en slik prosess er det mulig å unngå de driftsproblemene som tidligere er rapportert. I forsøksanlegget som ikke var optimalisert ble det fjernet opp til 60 % av $\text{NH}_4\text{-N}$. Energikostnadene som utgjør mesteparten av årskostnadene var ca. 0.7 kr. pr. m^3 vann.

4 emneord, norske:

1. Nitrogenfjerning
2. Ammoniakkavdrivning
3. Ammoniakkgjenvinning
4. Kommunalt avløpsvann

4 emneord, engelske:

1. Nitrogen removal
2. Ammonia stripping
3. Ammonia recovering
4. Domestic wastewater

Prosjektleder:

Helge Liltved

Helge Liltved

For administrasjonen:

Bjørn Olav Rosseland

Bjørn Olav Rosseland...

Kjell Ørerud

Kjell Ørerud

ISBN 82-577-1712-6

FORORD

Bakgrunnen for at siviling. Carl H. Knudsen A/S (CHK) og Norsk institutt for vannforskning (NIVA) fattet interesse for fysisk/kjemisk fjerning av nitrogen fra kommunalt avløpsvann i et lukket avdrivningsanlegg var følgende utsikter:

1. God mulighet for kombinasjon med kalk- og kalk/sjøvannsfelling hvor pH verdien er høy slik at ammoniakk kan avdrives direkte uten ytterligere pH heving.
2. Mulighet for å gjenvinne ammonium for videre utnyttelse.
3. Enkel og miljøvennlig prosess som er lett å drive og som har høy driftstabilitet.

Tanken om å utvikle en fysisk/kjemisk nitrogenfjerningsmetode basert på avdrivning, som et alternativ til noe kompliserte biologiske metoder med nitrifikasjon og denitrifikasjon, har lenge eksistert i NIVA miljøet.

Planen om å bygge et pilotanlegg for fysisk/kjemisk nitrogenfjerning ble utviklet av CHK og NIVA sommeren og høsten 1988, oppmuntret av Staten forurensningstilsyn (SFT) som omtrent samtidig startet det store prosjektet "Fjerning av næringsalter" (FAN). Pilotanlegget sto ferdig i januar 1989 og ble finansiert av CHK og Ticon VVS i Drammen. Anlegget ble installert på Muusøya renseanlegg og representanter for CHK drev anlegget fram til april 1989. I denne perioden ble det gjort diverse ombygninger og justeringer. Det ble bestemt å gjennomføre en større kontrollundersøkelse av anlegget for å se hvordan prinsippet virket.

Forsøkene ved Muusøya renseanlegg i Drammen som er rapportert her foregikk fra mai 1989 og ut året. Fra CHK har Carl Henrik Knudsen, Lasse Vråle, Rolf Lunde og Mildrid Solheim vært involvert i prosjektet. Knut Arne Pettersen og Helge Liltved fra NIVA har gjennomført kontrollundersøkelsene. Ellers retter vi en takk til driftspersonalet ved Muusøya renseanlegg og Drammen kommune for velvillig bistand i hele forsøksperioden.

Oslo 16. februar 1990

Helge Liltved

I N N H O L D S F O R T E G N E L S E

FORORD

SAMMENDRAG

	Side
1. INNLEDNING	7
2. BAKGRUNN FOR FORSØKENE	8
3. BESKRIVELSE AV FORSØKSANLEGGET	11
3.1 Prøvetaking	12
4. UNDERSØKELSESPERIODE 1	13
4.1 Materialer og metoder	13
4.2 Resultater	14
4.3 Diskusjon	18
5. UNDERSØKELSESPERIODE 2	21
5.1 Materialer og metoder	21
5.2 Resultater	21
5.3 Diskusjon	23
6. UNDERSØKELSESPERIODE 3	24
6.1 Materialer og metoder	24
6.2 Resultater	25
6.3 Diskusjon	27
7. KONKLUSJON	28
8. REFERANSER	29

SAMMENDRAG

De erfaringer som foreligger med ammoniakkavdrivning ved høy pH stammer stort sett fra åpne anlegg hvor den ammoniakk-holdige luften ble blåst direkte til atmosfæren. Dette ansees som uakseptabelt idag, og skapte mange driftsproblemer, bl.a. med utfelling av kalsiumkarbonat på mediet i avdrivningstårnet og isdannelse vinterstid. Dette førte til at prosessen kom i et dårlig lys.

Ved Muusøya renseanlegg i Drammen har representanter for konsulentfirmaet Carl-H. Knudsen A/S (CHK) og Norsk institutt for vannforskning (NIVA) kjørt forsøk i pilotskala med ammoniakkavdrivning ved høy pH etter kalkfelling. Luften som ble benyttet for ammoniakkavdrivning ble vasket i syre og resirkulert. Dette hindrer utslipp av NH_3 til atmosfæren. Istedenut gjenvinnes NH_4 slik at det kan utnyttes videre.

De kontrollerte undersøkelsene ved pilotanlegget foregikk i tidsrommet fra mai til desember 1989. I dette tidsrommet ble tre separate kontrollundersøkelser utført, hver med en varighet på ca. 1 uke. I disse periodene ble det tatt en rekke prøver som ble analysert m.h.p. vannkvalitet inn og ut fra avdrivningstårnet. Driftsparametere og driftsforhold ble overvåket.

Hensikten med forsøkene var å undersøke driftsforholdene i en integrert avdrivnings- og absorpsjonsprosess i forhold til tidligere erfaringer med åpne anlegg. I tillegg ønsket man å se hvilke renseeffekter som kunne oppnås og hvor stabil renseeffekten var m.h.p. NH_4 og tot-N i anlegget slik det var blitt bygget. Det ble ikke lagt avgjørende vekt på å optimalisere anlegget med tanke på renseeffekter og energiøkonomisering. En av grunnene til dette var manglende finansiell støtte slik at rimelige løsninger måtte velges ved prosjektering og bygging. For å få plass til anlegget inne i Muusøya renseanlegg ble avdrivningstårnet bygget lavere enn nødvendig for å oppnå høye renseeffekter. Trykktapundersøkelser viste at anlegget hadde unødvendig høye energitap i forbindelsene mellom avdrivningstårn og vasketårn p.g.a. for små rørdimensjoner. Energikostnadene kan derfor senkes ytterligere.

Resultatene fra de 3 undersøkelsesperiodene kan oppsummeres som følger, basert på middelverdier for de 3 periodene.

1) Det kalkfellede vannet fra utløpet av det kjemiske rensetrinnet og inn til avdrivningstårnet inneholdt lave verdier for tot-N og NH_4 -N, henholdsvis 17.5 og 11.8 mg/l. NH_4 -N utgjorde ved utløpet av det

kjemiske rensetrinnet bare 67.4 % av tot-N. $\text{NO}_3\text{-N}$ verdien var 0.4 mg/l. Dette tyder på at en stor andel nitrogen forelå som uhydrolysert urea. Siden ca.90 % av nitrogenet i kommunalt avløpsvann stammer fra urea, er man avhengig av en hydrolysering til ammonium før den kan drives av som NH_3 . Prøvene er tatt fra innløp til avdrivningstårnet og reflekterer ikke hva som skjer i det kjemiske rensetrinnet m.h.t. endring i forholdet mellom de forskjellige nitrogenkomponentene. Fjerning av tot-N og eventuell avdrivning av ammonium til atmosfæren i det kjemiske rensetrinnet kan ha endret forholdet mellom $\text{NH}_4\text{-N}$ og tot-N mellom innløpet til Muusøya renseanlegg og innløpet til avdrivningstårnet.

For å benytte avdrivning som metode for fjerning av nitrogen fra avløpsvann bør mest mulig av nitrogenet foreligge som $\text{NH}_4\text{-N}$. Ved vurdering av mulighetene for bruk av metoden i norske renseanlegg er det derfor viktig å skaffe informasjon om fordelingen av nitrogenkomponentene i vannet som skal renses. Dersom det viser seg at den organiske delen er uhydrolysert urea bør man undersøke hvordan hydrolysen kan stimuleres.

2) Kontinuerlig måling av $\text{NH}_4\text{-N}$ i vann med $\text{pH} > 11$ viste seg å være problematisk. Overløp og turbulente forhold i slanger og målerigg bør unngås da det er lett å miste NH_3 -gass til atmosfæren. Vanlig gasselektrode viste seg å være lite egnet for kontinuerlig måling av $\text{NH}_4\text{-N}$. Det var nødvendig å montere utstyr for automatisk kalibrering av elektroden hver 6. time for å unngå drift i verdiene.

Ved uttak av prøver med høy pH for analyse av nitrogenforbindelser ved laboratorium, må prøvene straks konserveres med svovelsyre.

3) Renseeffektene for tot-N i avdrivningstårnet varierte mellom 30 og 40 %, og for $\text{NH}_4\text{-N}$ mellom 48 % og 60 %. Nitrogenfjerningen i det kjemiske trinnet er ikke medregnet. Av $\text{NH}_4\text{-N}$ som ble fjernet fra vannet ble 87.1 % funnet igjen i syren.

De lave renseseffektene skyldes flere forhold. Dimensjoneringen av avdrivningstårnet var ikke optimal med tanke på høye renseseffekter. Avdrivningstårnet var for lavt og syremengden i omløp var trolig for liten. Lave innløpskonsentrasjoner og stor andel av organisk bundet nitrogen bidro også til lavere renseseffekt.

4) Vasking av den NH_3 -holdige luften i syre synes enkelt. Konsentrert syre kan absorbere store mengder NH_4 . I periode 1 ble 124.12 m^3 vann renses. Til dette ble det benyttet 1 liter 97 % H_2SO_4 fortynnet i 99 liter vann. Den konsentrerte syren utgjorde dermed bare 0.0008 % av

renset vannmengde. Avfallsmengden i forhold til behandlet vannmengde blir derfor liten i denne prosessen. Anvendelse av sluttproduktet, enten som gjødning i flytende form eller ved inndampning og anvendelse av ammonium-saltet må underøkes nærmere.

5) Anlegget forbruker energi som tilføres viften for sirkulering av luften i systemet, pumpen som løfter innløpsvannet opp i avdrivningstårnet og pumpen for resirkulering av syren. Totalt ga dette et energiforbruk på 1.44 kW og 1.92 - 2.45 kWh/m³ i de 3 periodene. Med en antatt strømpris på 0.4 kr/kWh gir dette energikostnader på 0.77 til 0.98 kr/m³ for rensing av avløpsvannet. Dersom strømprisen antas å være 0.3 kr/kWh vil energikostnadene være 0.58 - 0.74 kr/m³.

6) Vanntemperaturen gjennom avdrivningstårnet ble hevet fra 1.5 til 2.0 °C i de tre periodene. Temperaturhevingen representerte i gjennomsnitt en tilført energimengde på 1106 kcal pr. time og utgjorde 89.4 % av energimengden tilført vifte og pumper. Noe av varmen for temperaturheving ble trolig tatt fra omgivelsene (bassenghallen). Ved fullskaladrift bør mye av varmen tilført vannet kunne tas ut igjen ved energigjenvinning.

7) Driftserfaringene fra de kontrollerte undersøkelsene i forsøksanlegget kan oppsummeres som følger:

- Avdrivningsluften i systemet vil ikke være avhengig av utetemperaturen, men av temperaturen i bassenghallen, av vanntemperaturen og av temperaturøkningen i viften. Dette sikrer at temperaturen på luften inn til avdrivningstårnet vil være noe høyere enn vanntemperaturen. Dette vil øke temperaturen på innkommende vann i avdrivningstårnet, noe som er gunstig for NH₃-avdrivningen. Fare for isdannelse om vinteren er derfor ikke et problem når anleggene overbygges og luften resirkuleres som i forsøksanlegget.

- Driftsproblemer som følge av CaCO₃ utfelling i avdrivningstårnet ble ikke registrert i forsøksperiodene. Noe CaCO₃ ble utfelt i innløpsledningen til avdrivningstårnet og i ledningene til analyseriggen. Dette førte til økt friksjon og redusert kapasitet over tid.

- Nitrat utgjorde en ubetydelig andel av tot-N i vannet til Muusøya renseanlegg. Derimot utgjorde organisk bundet nitrogen en betydelig andel av tot-N; 32.6 % i gjennomsnitt. Hvordan hydrolyse av organisk bundet nitrogen til NH₄ kan stimuleres, bør undersøkes nærmere.

- pH økes automatisk til >11 når kalkfelling benyttes som forbehandling, og representerer dermed ikke noen ekstra kostnad.
- Fysisk/kjemisk nitrogenfjerning ved avdrivning av NH_3 i et lukket system viste seg å være en støysvak prosess.
- Anlegget var enkelt å betjene og fungerte uten alvorlige driftsforstyrrelser. Noen problemer i form av lekkasjer oppstod når vi benyttet 10 % syre. Dette p.g.a. tæring på materialkvaliteter i koblinger og pumpe. Det er derfor viktig å velge syrefast materiale i alle deler som er i kontakt med syren.
- Renseeffekt oppnås umiddelbart etter at anlegget slås på. Driftstilsyn begrenser seg i hovedsak til å skifte syre. I et fullskalaanlegg kan dette enkelt automatiseres. Det kan også være nødvendig å vaske slanger i sur løsning av og til for å fjerne CaCO_3 belegg.

8) Resultatene fra forsøkene viste at nitrogen i kommunalt avløpsvann lar seg fjerne som NH_3 ved avdrivning i en integrert prosess med resirkulering av luften etter kalkfelling. Denne prosessen kan kjøres uten de driftsproblemene som er rapportert tidligere for åpne systemer.

$\text{NH}_4\text{-N}$ andelen av tot-N i innkommende avløpsvann bør være så høy som mulig for god nitrogenfjerning. Dette taler for at prosessen bør kombineres med en prosess som stimulerer omdanning av urea til fri ammonium før vannet går inn på avdrivningsanlegget.

Prosesen er arealgjerrig i forhold til konkurrerende metoder. Resultatene fra våre forsøk sammen med nye energiberegninger som er gjort av Erga og Juliussen (1989), gjør at prosessen bør være et interessant alternativ til biologiske nitrogenfjerningsmetoder.

1. INNLEDNING

Tegn tyder på at problemene knyttet til marin eutrofiering og algeoppblomstringer er økende i utsatte deler av Nordsjøen. Dette gjelder spesielt Kattegat, men også deler av Skagerak. Observasjoner tyder på hyppigere algeoppblomstringer de siste 10 år enn i noen tilsvarende periode tidligere. Økte eller ubalanserte næringsalttilførsler er sannsynligvis en viktig årsak til denne tendensen. Dette har ført til krav om tiltak for å begrense tilførslene av næringsalter til de utsatte delene av Nordsjøen.

Betydningen av nitrogen og fosfor som begrensende næringsalt i marint miljø er fortsatt omstridt, men det generelt lavere N/P-forholdet i naturlig sjøvann tyder på at nitrogen spiller en viktigere rolle som begrensende næringsalt i åpne sjøområder enn i ferskvann. Undersøkelser fra Kattegat og Østersjøen viser at nitrogen har en viktig rolle i eutrofieringen av disse områdene. Av disse grunner er det foreslått at tiltak mot marin eutrofiering må omfatte reduksjon i tilførsler av både fosfor og nitrogen. Derfor er det viktig å utrede de tekniske mulighetene for å redusere næringsaltbelastningen fra punktutslipp.

Kjemisk felling er en effektiv og velkjent metode for fjerning av fosfor fra avløpsvann. Det foreligger imidlertid få fullskala erfaringer med nitrogenfjerning i Norge. Flere forskjellige metoder kan være aktuelle.

SFT startet i 1988 et tre-årig forskningsprogram for fjerning av næringsalter fra kommunalt avløpsvann. Gjennom et forprosjekt ble alternative nitrogenfjerningsmetoder vurdert av prosjektets styringsgruppe. Prosesser bestående av kjemisk felling, som primært fjerner fosfor men også mye partikulært stoff, og biologisk nitrifikasjon/denitrifikasjon ble ansett som mest aktuelle. Det ble bestemt å konsentrere forskningsarbeidet om disse metodene. Økonomisk usikkerhet omkring fysisk/kjemiske metoder som ammoniakkavdrivning, ionebytting og membranfiltrering gjorde at det ble bestemt å utrede potensiale for disse gjennom et forstudie på 1/2 - 1 år før det blir bestemt om det er verdt å gå videre med en eller flere av disse metodene. Resultatet av denne forstudien vil foreligge på vårparten 1990.

Konsulentfirmaet Carl-H. Knudsen A/S (CHK) i Drammen og Norsk institutt for vannforskning (NIVA) anså imidlertid at kombinasjonen av fosfor- og partikkelfjerning med kalkfelling og etterfølgende ammoniakkavdrivning som en så interessant prosess at et

samarbeidsprosjekt ble etablert for å prøve ut og videreutvikle metoden. Et forsøksanlegg ble bygget ved Muusøya renseanlegg (kalkfelling) i Drammen kommune. Anlegget er dimensjonert etter anbefalinger fra litteraturen, egne erfaringer og ut fra tilgjengelig plass og takhøyde i bassenghallen på Muusøya renseanlegg. Anlegget ble ferdig bygget i januar 1989, og CHK brukte 2 måneder til justeringer og ombygginger som var nødvendig for å oppnå stabil drift. Etter denne tid har NIVA kjørt tre undersøkelsesperioder; 22/5 - 29/5, 24/8 - 31/8 og 16/11 - 23/11 1989. Anlegget ble kjørt under konstante betingelser i hver undersøkelsesperiode med jevnlig overvåking og prøveuttak. Det er resultater fra disse perioden som er rapportert her. Resultatene må ansees som midlertidige, da bedre resultater etter videreutvikling og optimalisering av reaktorene kan forventes.

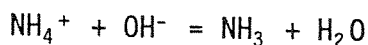
Målsetningen med disse undersøkelsesperiodene var å dokumentere hvilke renseeffekter som kunne oppnås med det uoptimaliserte anlegget, hvilke andre endringer i vannkvalitet som skjedde og hvor stabil og lettdrevet prosessen var.

CHK og Ticon VVS i Drammen har bekostet forsøksanlegget og medgått tid til prøvekjøringer og justeringer, mens NIVA har benyttet interne midler til å dekke medgått tid i de 3 undersøkelsesperiodene, analyser, databearbeiding og rapportering

2. BAKGRUNN FOR FORSØKENE

Kommunalt avløpsvann inneholder, ifølge litteraturen, normalt 20 - 60 mg/l totalt nitrogen, hvorav 70 - 95 % skal foreligge i redusert form som ammonium (NH_4). Den resterende prosentandelen skal i hovedsak være organisk bundet nitrogen. De store konsentrasjonsvariasjonene oppstår i første rekke p.g.a. fortykning av avløpsvannet ved innlekking av fremmedvann på ledningsnett i form av grunnvann, overflatevann og regnvann.

Ammonium (NH_4) overføres til ammoniakk (NH_3) i gassform ved tilsetting av base ifølge likevekten:



I utløpsvannet fra kalkfellingsanlegg hvor pH er mellom 11 og 12 vil nær 100 % av NH_4 foreligge som oppløst NH_3 -gass. Denne gassen kan fjernes ved avdrivning med luft. Gassen er imidlertid relativt løselig i vann, noe som gjør at det må brukes store mengder luft for avdrivning. Det teoretiske grunnlaget for prosessen er beskrevet av Fettig (1988) og Fettig og Ødegaard (1988). En rekke reaktortyper er

blitt utprøvd, både i forsøksskala og fullskala. Ved NIVA er en alternativ reaktortype blitt testet i forsøksskala. Resultatene viste ca. 60 % fjerning av $\text{NH}_4\text{-N}$, men energiforbruket var høyt, ca. 22 kWh pr. m^3 rensset avløpsvann (Damhaug, 1982). Det ble aldri gjort forsøk på å redusere energiforbruket i dette forsøksanlegget.

Resultater fra forsøk som er gjort med ammoniakkavdrivning er oppsummert av Fettig (1988) og Fettig og Ødegaard (1988).

I tidligere avdrivningsanlegg ble det benyttet uteluft uten forvarming. Den NH_3 -holdige luften ble sluppet ut til atmosfæren via luftetårn. Disse tårnene var utsatt for ising og karbonatutfelling på mediet inne i avdrivningstårnet.

I dag blir det ansett som uakseptabelt å slippe NH_3 -holdig luft direkte til atmosfæren. Den NH_3 -holdige luften bør derfor vaskes i surt miljø og resirkuleres. Salpetersyre og svovelsyre er to aktuelle syrer for NH_4 -absorpsjon. Høy løselighet i det sure pH-området gjør at store mengder NH_4 kan absorberes. Eksempelvis løses det 700 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ pr. liter vann ved 0 °C og pH 7.

Det foreligger svært lite erfaringer fra anlegg hvor luften er syrevasket og resirkulert. I et regneeksempel for 80 % ammoniumsfjerning som ble benyttet av Fettig og Ødegaard (1988) opereres det med total kostnader på 2.80 kr/ m^3 med 0.40 kr/kWh, respektive 2.40 kr/ m^3 med 0.30 kr/kWh. Mer enn 80 % av disse beløpene ble hevdet å være energikostnader, hovedsakelig energi for å drive luft gjennom systemet. Kostnader for pH-hevning (kalkfelling) var ikke medregnet. Disse tallene gir et energiforbruk på 5-6 kWh/ m^3 rensset vann.

Erfaringer fra pilotforsøk i Danmark i et avdrivningsanlegg med to tårn i serie og vasking og resirkulering av luft tilsier driftskostnader i området 1.50 - 1.70 kr pr. m^3 kommunalt avløpsvann for å redusere tot-N verdiene i utløpet til <8 mg/l (Andersen, 1989). Middelkonsentrasjonene m.h.t. tot-N var henholdsvis 31.3 og 6.8 mg/l i innløp og utløp. Dette tilsvarer en reduksjon på 78.3 %. Kostnadene inkluderte kalkfelling.

I 3 stk. SINTEF-notater har Erga og Juliussen (1989) teoretisk beregnet dimensjoner og kostnader for et integrert avdrivning- og absorpsjonsanlegg. Driftskostnadene for vifte og pumper i et anlegg av denne typen dimensjonert for 10000 p.e. er oppgitt til ca. 2.0 kWh pr. m^3 avløpsvann for 83 % fjerning av $\text{NH}_4\text{-N}$. Dette gir ca. 0.8 kr/ m^3 i energikostnader når vi regner 0.4 kr/kWh.

Fettig og Ødegaard (1988) har oppsummert fordeler og ulemper med prosessen. Tabell 1 angir disse.

Tabell 1. Fordeler og ulemper med ammoniakkavdrivning.

Fordeler	Ulemper
- 60-95 % fjerning av NH_4^+ -N mulig	- renseeffekt minker når temperaturen avtar
- drift er kontinuerlig, enkel og nøyaktig	- nitrat fjernes ikke
- andre stoffer i vannet har ingen betydning	- organisk nitrogen fjernes sannsynligvis ikke
- gjenvinning av ammoniummet mulig	- pH må økes til >11 foran prosessen og muligens forminskes igjen etterpå
	- fare for utfelling av CaCO_3 når kalk brukes for pH-økning
	- fare for isdannelse om vinteren
	- støy

Utgangspunktet for å benytte et lukket avdrivningssystem for nitrogenfjerning i våre forsøk var å søke å unngå de alvorligste driftsproblemene som er nevnt i litteraturen. Teoretisk er det to grunner for at dette skulle lykkes:

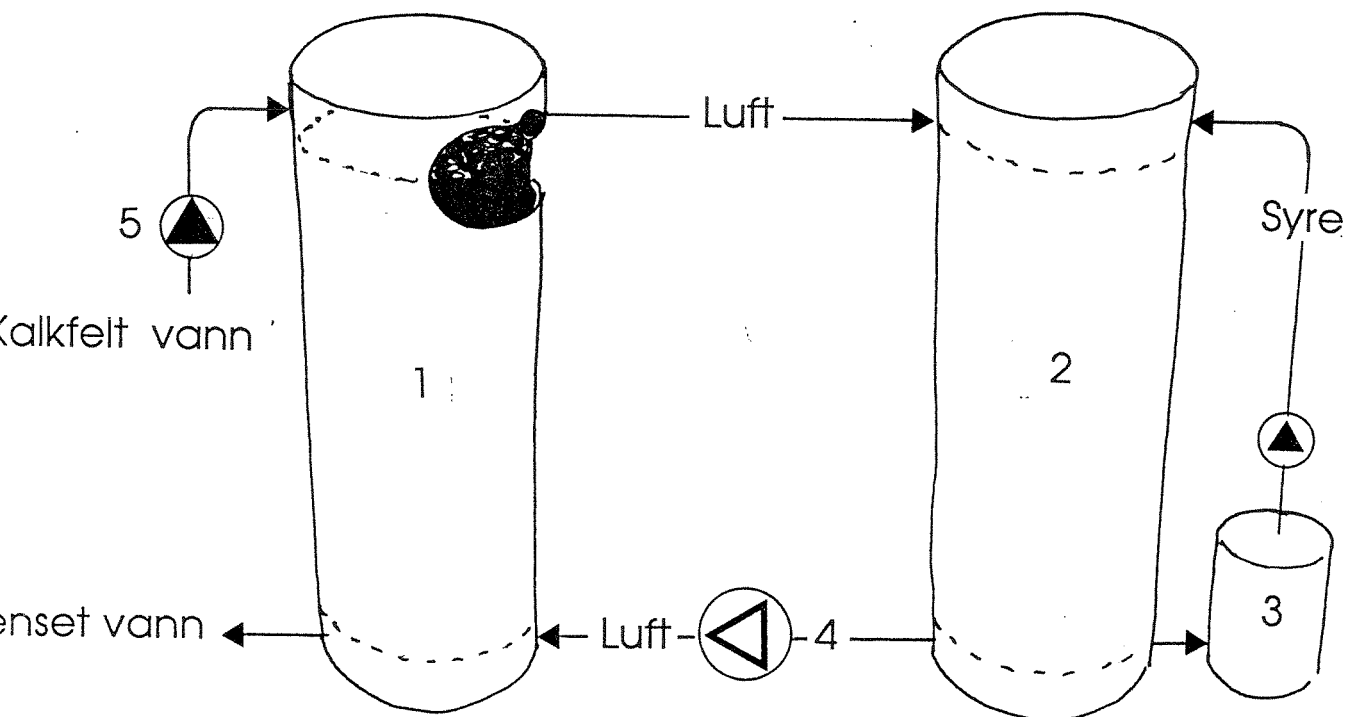
- 1) Problemene med isdannelse på mediet i avdrivningstårnet unngås. Dette fordi luften resirkuleres. Derved vil lufttemperaturen bestemmes av temperaturen i innkommende vann og energitilførselen gjennom vifta.
- 2) Problemene med utfelling av CaCO_3 på mediet i avdrivningstårnet unngås eller reduseres. Dette fordi absorpsjon av CO_2 fra luften, som er avgjørende for CaCO_3 dannelse, reduseres i et lukket system.

Dersom det ville vise seg at disse problemene kan unngås, antok vi videre at prosessen kan være interessant som et alternativ til biologiske nitrogenfjerningsmetoder. Optimalisering av prosessen med tanke på nitrogenfjerningseffekt og energisparing ville da bli en naturlig oppfølging av det arbeidet som er rapportert her. Det vil også være nødvendig å vurdere mulig bruk av det sure avfallsproduktet (absorpsjonsløsningen). Bruk av løsningen til gjødningformål eller

inndampning for produksjon av fast ammoniumsulfat eller andre ammoniumsprodukter er interessante muligheter å undersøke.

3. BESKRIVELSE AV FORSØKSANLEGGET

Forsøksanlegget bestod av et avdrivningstårn med plastmedium(1), et vasketårn med plastmedium(2), en dråpefanger, en syrebeholder med pumpe (3), vifte (4) og innløpspumpe (5). Figur 1 viser forsøksanleggets oppbygging. Avløpsvannet ble pumpet opp fra utløpsrennen på renseanlegget og opp i avdrivningstårnet. Dette vannet hadde gjennomgått kalkfelling, pH verdien var derfor høyere enn 11.0. Avløpsvannet ble fordelt over tversnittet øverst i tårnet og sildret gjennom plastmediet og ut i utløskummen. Motstrøms ble det blåst luft v.h.a. vifte. Denne luften ble ført i en lukket krets tilbake til vasketårnet. Syre ble pumpet fra en syrebeholder til toppen av vasketårnet hvor luft-syre kontakt oppstod i plastmediet. Syren ble samlet opp i bunnen av vasketårnet og ledet tilbake til syrebeholderen for rundpumping. I tabell 2 er det angitt dimensjoner for anlegget.



Figur 1. Forsøksanleggets oppbygging.

Tabell 2. Dimensjoner for anlegget i forsøksperioden.

	Effektiv høyde, m	Diameter, m	Effektivt volum, m ³
Avdrivningstårn (1) m/plastmedium	2.40	0.60	0.67
Vasketårn (2) m/plastmedium	2.00	0.40	0.25
Syrebeholder (3)			0.10

3.1 Prøvetaking

En automatisk prøvetakings- og analyserigg sørget for overvåking av vannkvaliteten inn til og ut fra forsøksanlegget. Innløpsvannet ble pumpet til analyseriggen fra utløpsrenna på Muusøya renseanlegg. Utløpsvannet fra avdrivningstårnet ble pumpet til analyseriggen fra en utløpskum. Vann ble pumpet vekselvis fra innløp og utløp inn på analyseriggen. Innløpsvann ble pumpet 45 min., deretter utløpsvann i 45 min. Verdiene ble logget og bearbeidet v.h.a. en datamaskin (PC).

Det ble i tillegg montert blandprøvetakere ved innløp og utløp. Disse tok ut delprøve hvert 20 min. Blandprøver ble tatt ut hver 24. time, bortsett fra lørdager og søndager. Prøvekannene ble på forhånd tilsatt 4 M H₂SO₄ i en mengde som tilsvarer 1 ml pr. 100 ml avløpsvann. Dette var nødvendig for å hindre tap av NH₃ fra det basiske vannet til atmosfære. Blandprøvene ble fraktet til NIVA's laboratorier umiddelbart etter uttak og analysert.

Stikkprøve fra syrebeholderen ble tatt ut hvert døgn, bortsett fra lørdag og søndag. Disse ble analysert på NIVA's laboratorier.

Temperaturen på den resirkulerte luften ble målt daglig før og etter vifta. Temperaturen og luftfuktigheten i bassenghallen ble målt daglig.

Nitrogenforbindelser ble analysert som tot-N og NH₄-N. Tot-N ble analysert i.h.t. Norsk standard med oksydering av N-forbindelser til nitritt og nitrat. NH₄-N ble målt med elektrode etter alkalisering.

4. UNDERSØKELSESPERIODE 1

4.1 Materialer og metoder

Periode 1 varte fra 22. mai til 29. mai 1989. Følgende parametere ble målt kontinuerlig ved innløp og utløp fra avdrivningstårnet.

- turbiditet, turb.
- temperatur, temp.
- ledningsevne, ledn.
- pH
- ammonium, $\text{NH}_4\text{-N}$

Det ble i tillegg tatt ut blandprøver før og etter avdrivningstårnet. Disse ble analysert m.h.p. følgende parametere:

- kjemisk oksygenforbruk, COD-Cr
- total fosfor, tot-P
- totalt nitrogen, tot-N
- nitrat, $\text{NO}_3\text{-N}$
- ammonium, $\text{NH}_4\text{-N}$
- kalsium, Ca

Stikkprøver fra syrebeholderen ble analysert m.h.p.:

- pH
- aciditet, acid.
- ammonium, $\text{NH}_4\text{-N}$
- kalsium, Ca
- sulfat, SO_4

Under forsøket ble vannmengde gjennom avdrivningstårnet, luftmengde og syremengde gjennom vasketårnet holdt konstant. Anlegget ble kjørt under følgende betingelser:

Vannmengde:	12.5 l/min (2.6 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)
Luftmengde:	1990 m^3/h
Luft/vann:	2653
Syrevolum ved start:	100 l
Syrestyrke:	1 %
Syremengde pumpet:	1.25 l/min.
Totalt energiforbruk:	1.44 kW, 1.92 kWh/m^3

4.2 Resultater

Som tidligere nevnt ble innløpsvannet til avdrivningstårnet pumpet fra utløpsrenna på renseanlegget etter kalkfelling. Tabell 3 viser vannkvaliteten i perioden basert på data fra den automatisk analyseriggen, målinger på stedet og døgnblandprøver. Tabell 4 viser temperatur og pH inn og ut fra avdrivningstårnet.

Tabell 3. Kvaliteten på innløpsvannet til avdrivningstårnet i forsøksperioden.

	Middel	Maksimum	Minimum	Antall målinger
pH	12.2	12.5	12.0	kontinuerlig
Temp., °C	9.9	10.5	9.5	"
Turb., FTU	11.0	27.0	5.0	"
Ledn., µS/cm	1300	1600	1000	"
Ca, mg/l	159	210	129	5
KOF, mg/l	107	130	90	5
Tot-P, mg/l	0.5	0.6	0.4	5
Tot-N, mg/l	18.4	20.9	16.5	5
NH ₄ -N, mg/l	11.6	12.2	10.9	5
NO ₃ -N, mg/l	0.5	0.7	0.3	5

Tabell 4. Verdier for temperatur og pH i innløp og utløp fra avdrivningstårnet fra de kontinuerlige målingene.

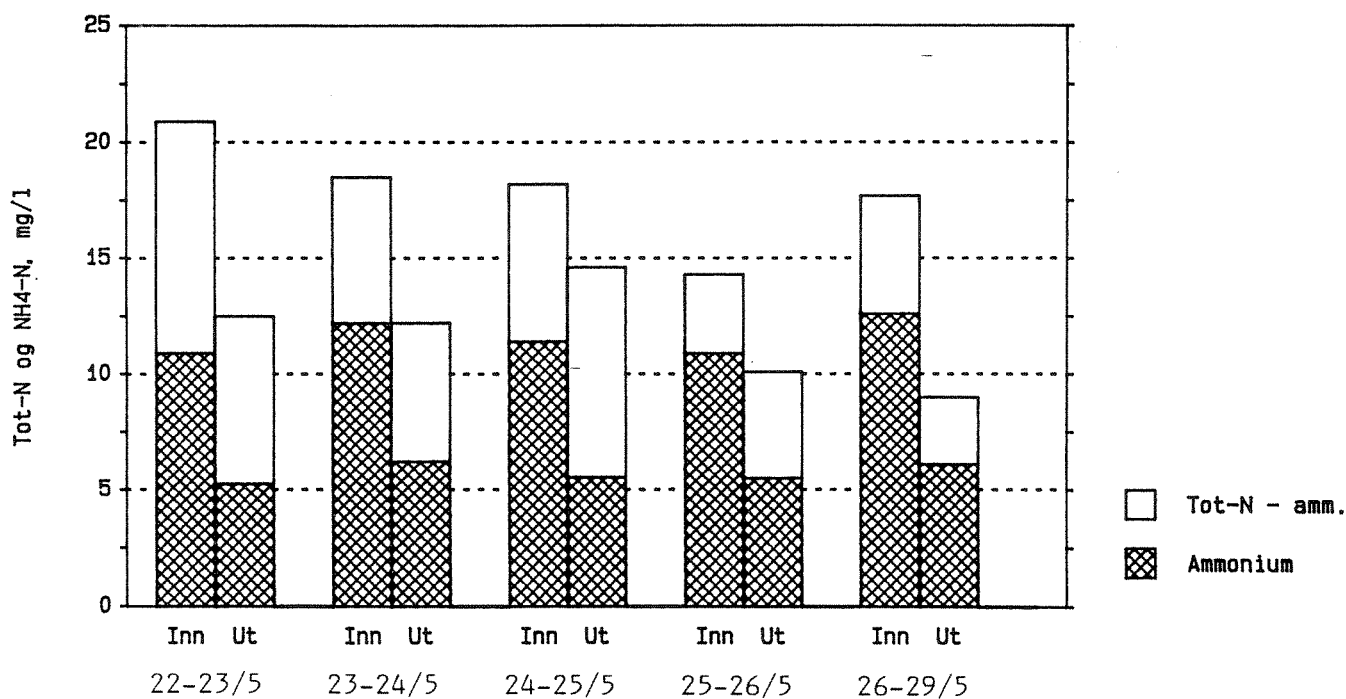
	Temperatur °C			pH		
	Middel	Max.	Min.	Middel	Max.	Min.
Innløp	10.2	10.6	9.7	12.3	12.7	12.0
Utløp	11.7	12.7	11.0	12.2	12.5	11.9
Endring	+1.5			-0.1		

Tabell 5 viser temperatur på den resirkulerte luften og temperatur i bassenghallen i perioden.

Tabell 5. Lufttemperatur inn og ut fra viften, og lufttemperatur i bassenghallen.

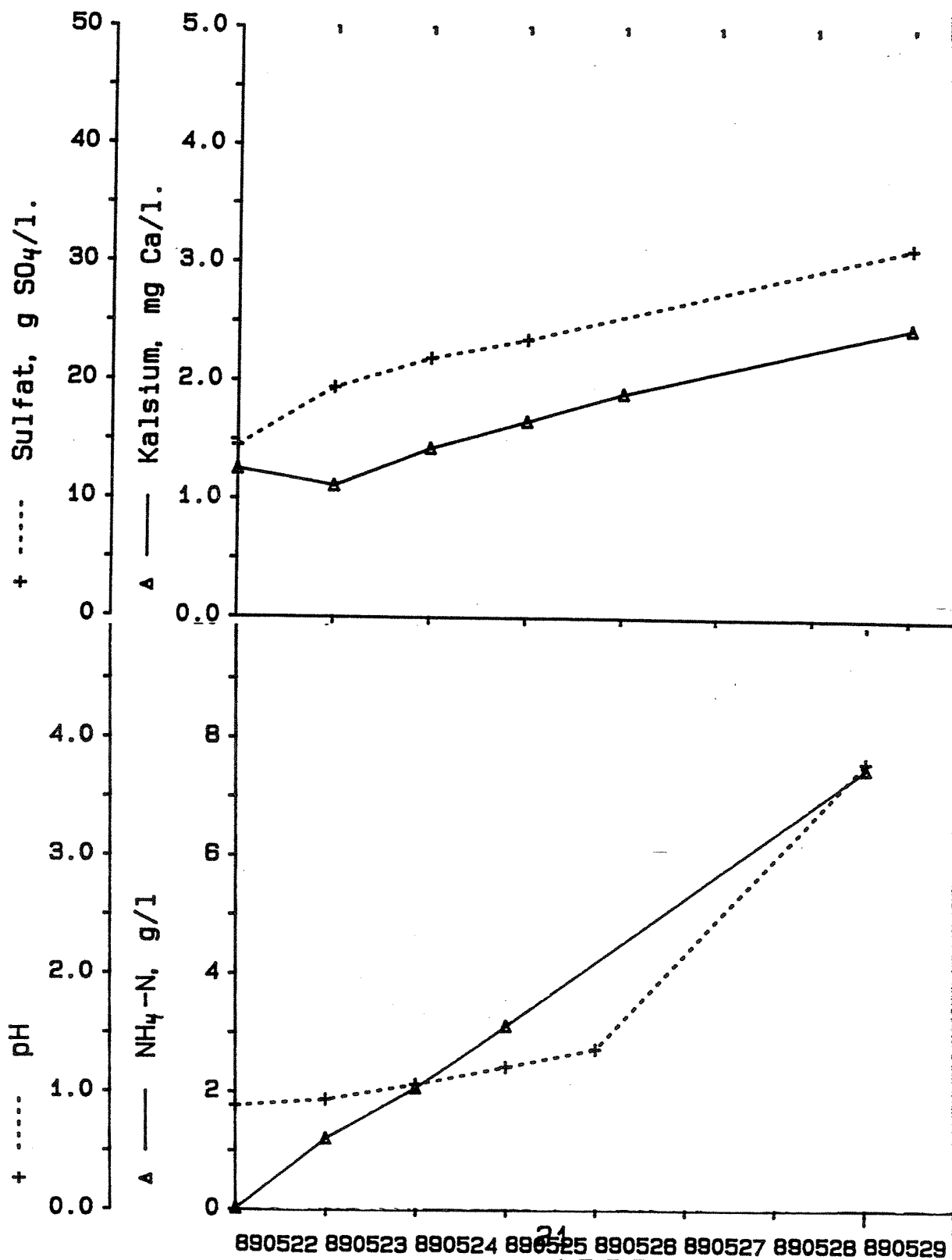
	Temperatur, °C		
	Middel	Max.	Min.
Før vifte	11.9	12.3	11.3
Etter vifte	13.1	12.5	13.5
I bassenghall	19.5	20.9	18.3

Resultatene fra blandprøvene tatt med automatiske prøvetakerene er vist i figur 2. Konsentrasjonene av $\text{NH}_4\text{-N}$ og tot-N i innløp og utløp i perioden framkommer i figuren.

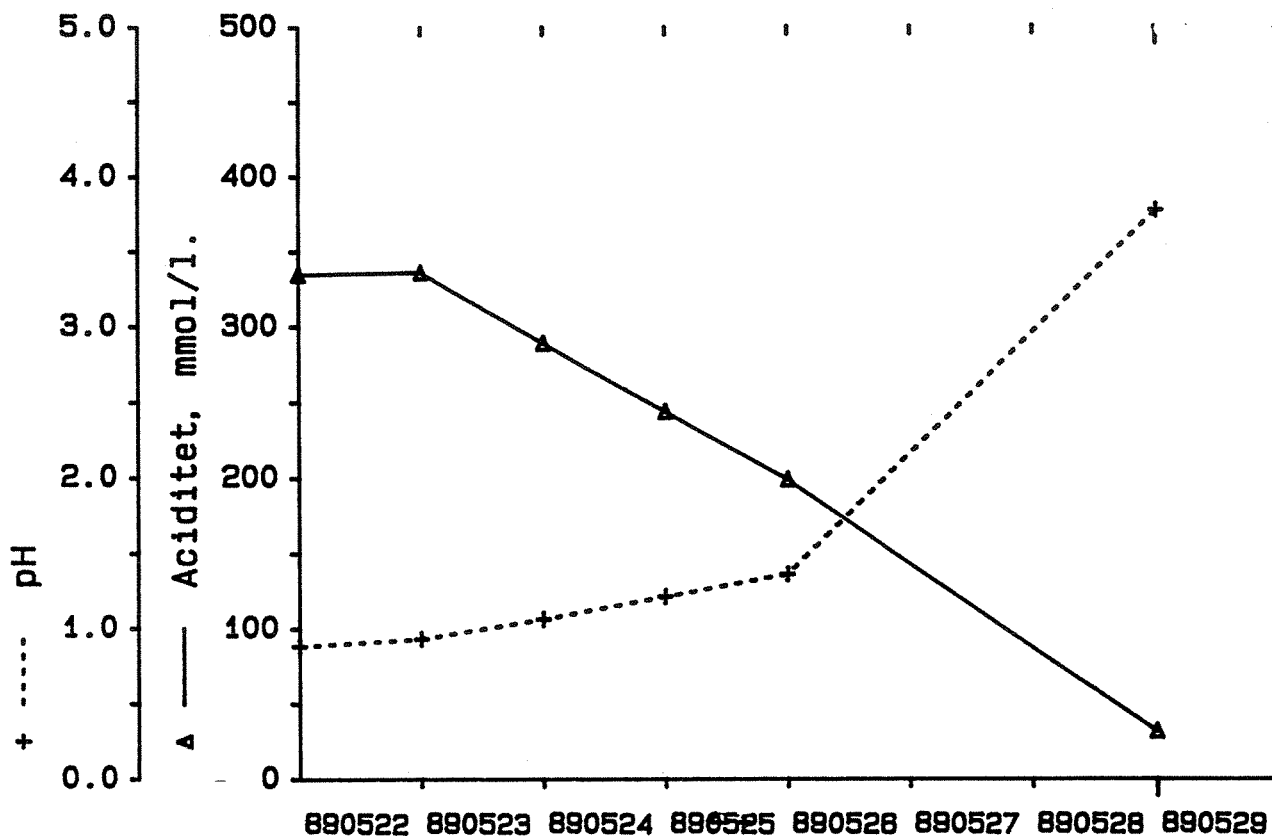


Figur 2. Konsentrasjonene av $\text{NH}_4\text{-N}$ og tot-N i innløp til og utløp fra avdrivningstårnet i perioden. Det skraverte feltet angir andelen av $\text{NH}_4\text{-N}$.

Det ble daglig tatt ut 1 l prøve av syren for analyse. Resultatene er vist i figur 3 og figur 4.



Figur 3. Konsentrasjonene av SO₄, Ca, NH₄-N og pH i syren som funksjon av tid.



Figur 4. Aciditet- og pH-verdier i syren som funksjon av tid.

Ved periodens start var syrevolumet 100 l. Ved avslutning av perioden ble dette målt til 87 l. Som tidligere nevnt ble det daglig tatt ut 1 l prøve av syren for analyse, totalt 6 l. Med disse 6 literene fratrukket det opprinnelige volum på 100 l, vil syretapet til omgivelsene bli 7 l.

For å vise at mengden $\text{NH}_4\text{-N}$ som ble fjernet fra avløpsvannet ble tatt opp i syren ble en massebalanse utarbeidet. Tabell 6 viser mengde $\text{NH}_4\text{-N}$ fjernet i tidsintervallene blandprøvene ble hentet fra.

Tabell 6. Mengde $\text{NH}_4\text{-N}$ fjernet fra vannfasen i hvert tidsintervall.

Dato	22-23/5	23-24/5	24-25/5	25-25/5	26-29/5
$\text{NH}_4\text{-N}$ fjernet, mg/l	5.65	5.98	5.86	5.40	6.49
Vannmengde, l/min.	12.6	12.7	12.6	13.0	12.1
Intervalllets størrelse, t.	24	24	24	24	70
Vannmengde, l.	18144	18288	18144	18720	50820
$\text{NH}_4\text{-N}$ fjernet, g.	102.5	109.4	106.3	101.1	329.8

Totalt ble 749.1 g $\text{NH}_4\text{-N}$ fjernet fra vannfasen i perioden. Tabell 7 angir mengde $\text{NH}_4\text{-N}$ som ble funnet igjen i syren.

Tabell 7. Mengde $\text{NH}_4\text{-N}$ som ble funnet igjen i syren.

Prøveuttak 22/5:	1 l *	0.02 g $\text{NH}_4\text{-N/l}$ =	0.02 g
--- " --- 23/5:	1 l *	1.20 --- " --- =	1.20 g
--- " --- 24/5:	1 l *	2.06 --- " --- =	2.06 g
--- " --- 25/5:	1 l *	3.11 --- " --- =	3.11 g
--- " --- 26/5:	1 l *	6.20 --- " --- =	6.20 g
--- " --- 29/5:	1 l *	7.44 --- " --- =	7.44 g
I syren ved avslutning:	87 l *	7.44 --- " --- =	647.28 g
Totalt:			667.31 g

4.3 Diskusjon

Verdiene fra tabell 3 viser at vannet fra Muusøya renseanlegg som pumpes til avdrivningstårnet har lave konsentrasjoner. Som det framgår av tabellen var pH høy selv om det ble dosert lite kalk i fellingstrinnet (200-300 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pr. liter). Dette tyder på fortynnet innløpsvann til Muusøya renseanlegg vann og liten bufferkapasitet. Dette samsvarer med andre undersøkelser ved renseanlegget. Verdiene for tot-N og $\text{NH}_4\text{-N}$ var lave sammenliknet med verdier fra utlandet, men behøver ikke være unormalt for kommunalt avløpsvann i Norge. $\text{NH}_4\text{-N}$ konsentrasjonen utgjorde 63.0 % av tot-N

konsentrasjonen basert på middelverdier. En viss avdrivningseffekt kan forekomme i renseanlegget før inntak til tårnet. Avløpsvannet inn til avdrivningstårnet inneholdt i middel 0.5 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$. Dette utgjorde 2.7 % av tot-N. Resten av nitrogeninnholdet antas å være uhydrolysert urea. Metoder for å hydrolysere dette til ammonium bør undersøkes.

Den automatiske prøvetakings- og analyseriggen med kontinuerlig logging av data var i drift i hele forsøksperioden. Dessverre viste det seg at de kontinuerlige ammoniumsmålingene ikke var pålitelige, da det var drift i verdiene over tid. Avviket fra verdiene analysert på døgnblandprøvene ble derfor stort. Analyseresultatene fra døgnblandprøvene er benyttet i denne rapporten.

Lufttemperaturen økte i middel 1.2 °C mellom innløp og utløp vifte. Vifta tilførte luften energi i form av varme. Deler av den tilførte varmeenergien ble avgitt til vannet i avdrivningstårnet, som i gjennomsnitt steg 1.5 °C fra innløp til utløp. Temperaturen ut fra vifta (inn til avdrivningstårnet) holdt seg stabil nær middeltemperaturen på 13.1 °C i forsøksperioden. Middeltemperatur i bassenghallen var 19.5 °C.

Kurvene fra dataloggeren viste en markant temperaturøkning på gjennomsnittlig 1.5 °C og et pH fall på 0.1 enheter mellom innløp og utløp i avdrivningstårnet. pH fallet skyldes avdrivning av NH_3 . Størrelsen på pH fallet står i forhold til avdrivningseffekten. Temperaturøkningen skyldes tilført varmeenergi gjennom pumper og vifte, og muligens også noe tilført gjennom veggene på avdrivningstårnet fra bassenghallen. Varmeenergien i temperaturøkningen utgjorde 90.9 % av tilført energi fra pumper og vifte. Det bør være fullt mulig å hente ut igjen mesteparten av denne energien ved bruk av varmepumper. Det var liten eller ingen forskjeller i turbiditet og ledningsevne mellom innløp og utløp.

$\text{NH}_4\text{-N}$ konsentrasjonene ble i gjennomsnitt redusert fra 11.6 mg/l i innløpet til avdrivningstårnet til 5.7 mg/l i utløpet i perioden. Dette tilsvarte en gjennomsnittlig renseeffekt på 50.7 %. Tot-N konsentrasjonen ble redusert fra 18.4 i innløp til 11.7 i utløp, tilsvarende en renseeffekt på 36.4 %. I disse renseeffektene er nitrogenfjerningen i fullskalaanlegget forøverig ikke medregnet. Det ble ikke registrert betydelige endringer i konsentrasjonene av tot-P, KOF, $\text{NO}_3\text{-N}$ og Ca mellom innløp og utløp i forsøksanlegget.

I syren ble det registrert en økning i SO_4 konsentrasjonen fra 14.5 g/l ved start til 31.4 g/l ved periodens slutt. Kalsiumkonsentrasjonen økte fra 1.25 mg/l til 2.47 mg/l. $\text{NH}_4\text{-N}$ ble absorbert i syren fra 0.02

g/l ved start til 7.44 g/l ved avsluttning. pH verdien økte fra 0.88 til 3.77. Verdien for aciditet ved start var 334.5 mmol/l og 31.74 mmol/l ved avslutning. 89.1 % av $\text{NH}_4\text{-N}$ som ble fjernet fra avløpsvannet ble funnet igjen i syren. Den resterende delen kan ha blitt mistet gjennom små lekkasjer i luftkretsen.

Renseeffektene som ble vist i denne perioden med hensyn til $\text{NH}_4\text{-N}$ og tot-N var forholdsvis lave. Hvordan renseeffektene kunne bedres skulle undersøkes nærmere ved å forbedre reaktorene og driftsbetingelsene.

5. UNDERSØKELSESPERIODE 2

Denne perioden ble kjørt fra 24. august til 31. august 1989. Anlegget ble kjørt som tidligere, men syrepumpa ble byttet og det ble montert en sprededyse for syre øverst i tårnet. Dette ble gjort for å om mulig å bedre effekten av syrevaskingen. Syren ble fordelt bedre over arealet i vasketårnet med jevn mengde pr. tidsenhet. Mengden syre i sirkulasjon pr. tidsenhet ble mindre enn i 1. periode da motstanden i dysen var stor. Det ble dessuten kjørt med noe lavere vannmengde enn tidligere.

5.1 Materialer og metoder

Også i denne perioden ble turbiditet, temperatur, ledningsevne, pH og ammonium målt kontinuerlig. Det ble tatt ut blandprøver ved innløp til og utløp fra avdrivningstårnet for analysering av ammonium, nitrat og tot-N. Syreprøver ble tatt ut for ammonium- og pH-bestemmelse.

Forsøkene ble kjørt under følgende betingelser:

Vannmengde:	10.6 l/min (2.3 m ³ /m ² .h)
Luftmengde:	1990 m ³ /h
Luft/vann:	3109
Syrevolum ved start:	100 l
Syrestyrke:	1 %
Syremengde pumpet:	0.7 l/min
Totalt energiforbruk:	1.44 kW, 1.98 kWh/m ³

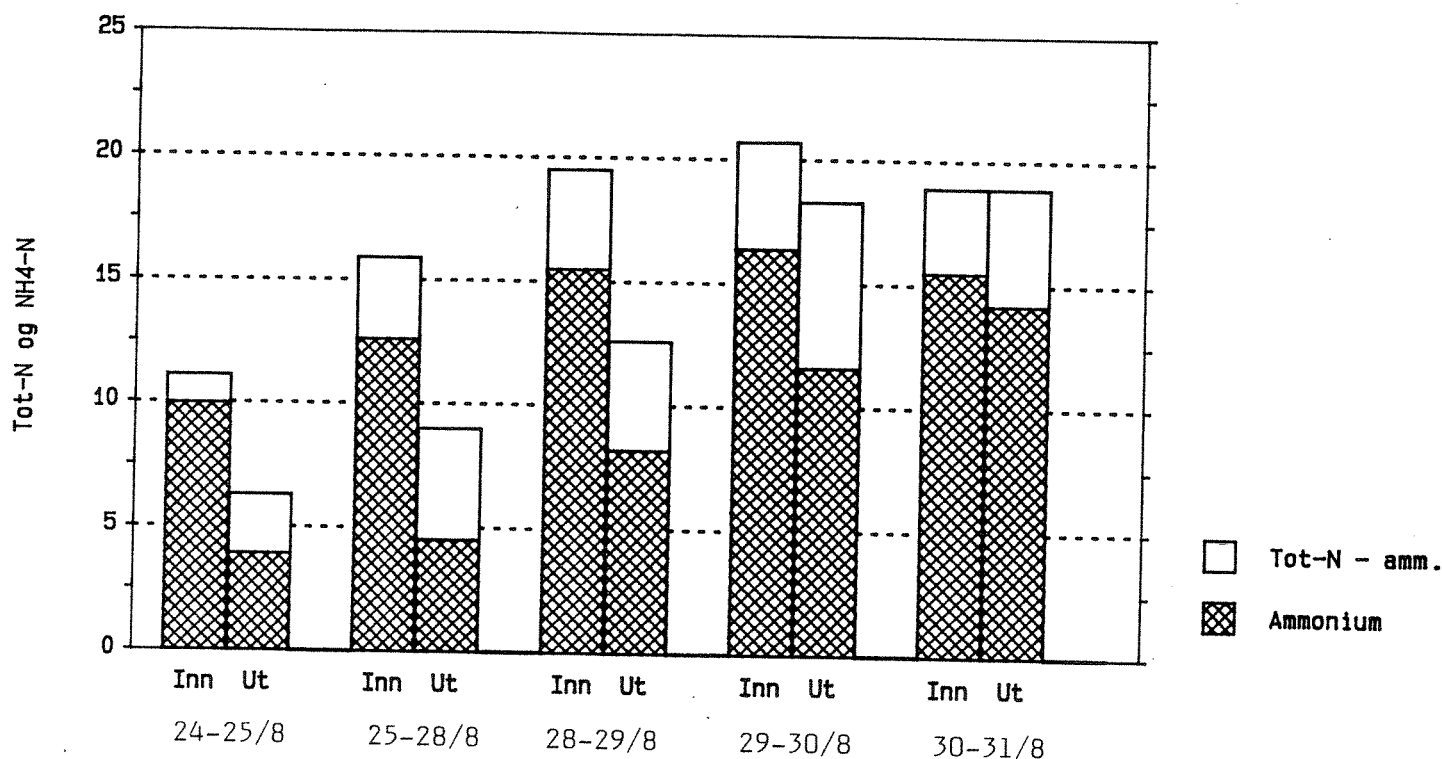
5.2 Resultater

Lufttemperaturen i bassenghallen i denne perioden var ca. 18 °C. I tabellen nedenfor er det vist verdier for temperatur og pH i innløpsvannet og utløpsvannet i perioden.

Tabell 7. Temperatur og pH-verdier fra innløp og utløp i avdrivningstårnet i perioden.

	I n n l ø p middel	U t l ø p middel
Temperatur, °C	12.4	14.0
pH	11.7	11.7

Figur 5 viser innløpsverdier til og utløpsverdier fra avdrivningstårnet for tot-N og $\text{NH}_4\text{-N}$ i perioden. Den skraverte delen av søylene angir andelen $\text{NH}_4\text{-N}$. I tabell 8 er konsentrasjonene av nitrat i innløpsvannet og utløpsvannet vist. Dette illustrerer andelen av nitrat i forhold til de øvrige nitrogen-komponentene.



Figur 5. Innløps- og utløpsverdiene for tot-N og $\text{NH}_4\text{-N}$ i perioden. Det skraverte feltet angir andelen av $\text{NH}_4\text{-N}$.

Tabell 8. Konsentrasjoner av nitrat i innløps- og utløpsvann.

Dato	25/8	26-27-28/8	29/8	30/8	31/8
Innløp, $\text{NO}_3\text{-N}$, mg/l	0.24	0.30	0.31	0.31	0.38
Utløp, $\text{NO}_3\text{-N}$, mg/l	0.24	0.31	0.27	0.25	0.31

Det ble i denne perioden målt en temperaturøkning på i middel 1.3 °C før og etter viften. Vanntemperaturen før og etter avdrivningstårnet viste også en økning på 1.6 °C.

5.3 Diskusjon

Figur 5 viser at vannet inn til avdrivningstårnet i denne perioden hadde lave stoff-konsentrasjoner. Innløpsvannet hadde en middel tot-N konsentrasjon på 17.2 mg/l, middel $\text{NH}_4\text{-N}$ på 14.0 mg/l og middel $\text{NO}_3\text{-N}$ på 0.31 mg/l. I denne perioden utgjorde $\text{NH}_4\text{-N}$ i innløpsvannet til avdrivningstårnet 81.4 % av tot-N konsentrasjonen. 1.8 % av tot-N forelå som $\text{NO}_3\text{-N}$. Det viser at NH_4 andelen av tot-N i denne perioden var betydelig høyere enn i periode 1 og periode 3.

Figur 5 viser at renseeffekten avtok over tid. Fra renseeffekter over 60 % m.h.p. $\text{NH}_4\text{-N}$ og over 40 % m.h.p. tot-N de to første døgnene, avtok effekten til null siste døgn. På dette tidspunkt inneholdt syren 5400 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ og hadde en pH på 2.28. Dette tyder på at syren mistet sin evne til å absorbere NH_3 fra luften ved økende pH og $\text{NH}_4\text{-konsentrasjon}$ i syren. Dette vil medføre høyere partialtrykk av NH_3 i den resirkulte luften og derved senke transporten av NH_3 fra vannet til luften, og derved også renseeffekten. Denne "metningen" av syren oppsto tidligere i denne perioden enn i periode 1. Den lave mengden med syre i omløp kan ha vært en medvirkende årsak til redusert effekt. En økt mengde syre i omløp ville muligens ha økt absorpsjonskapasiteten ved økende pH og $\text{NH}_4\text{-konsentrasjon}$. I forhold til periode 1 ble det registrert noe bedre effekt m.h.t. $\text{NH}_4\text{-N}$ fjerning i periodens første del.

I perioden ble det fjernet 667.4 gr. $\text{NH}_4\text{-N}$ fra avløpsvannet. Det ble funnet igjen 512.0 gr. i syren, tilsvarende 76.7 %. Den resterende delen kan ha blitt mistet gjennom små syrelekkasjer, eller til atmosfæren gjennom små luftlekkasjer.

6. UNDERSØKELSESPERIODE 3

Perioden varte fra 16. november til 23. november 1989. Anlegget ble kjørt under tilnærmet samme betingelser som i periode 2, men syrestyrken ble øket til 10 %.

6.1 Materialer og metoder

Instrumentet for kontinuerlig måling av ammonium ble byttet til et instrument med autokalibrering hver 6. time. Dette ble gjort fordi det tidligere viste seg å være drift i målingen over tid. Temperatur og pH ble målt daglig unntatt lørdag og søndag ved innløp og utløp fra avdrivningstårnet. Det ble tatt ut blandprøver fra innløp og utløp 6 ganger i perioden for analyse m.h.p. tot-N og $\text{NH}_4\text{-N}$. Temperaturen i bassenghallen og lufttemperaturen før og etter vifte ble målt daglig, unntatt lørdag og søndag. Det ble også tatt ut stikkprøve fra syren for pH måling og analyse av $\text{NH}_4\text{-N}$. Vannmengde og luftmengde gjennom avdrivningstårnet og syremengden som ble resirkulert ble holdt konstant.

Anlegget ble kjørt under følgende betingelser:

Vannmengde:	9.8 l/min (2.1 m ³ /m ² .h)
Luftmengde:	1900 m ³ /h
Luft/vann:	3372
Syrevolum ved start:	100 l
Syrestyrke:	10 %
Syremengde pumpet:	0.7 l/min
Totalt energiforbruk:	1.44 kWh, 2.45 kwh/m ³

6.2 Resultater

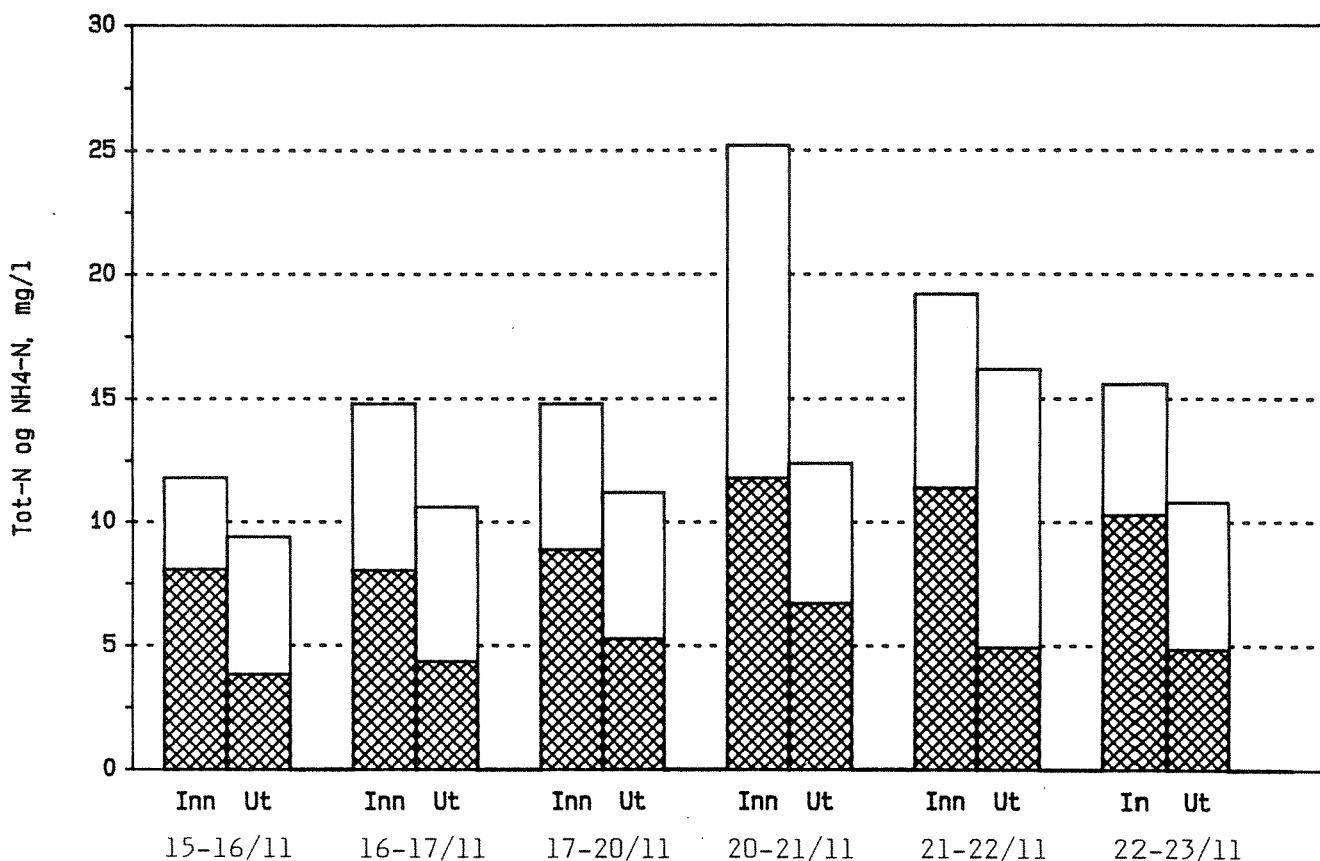
Temperaturen i bassenghallen ble målt til ca. 15 °C i perioden.

Tabell 9 viser temperatur og pH i innløpsvannet og utløpsvannet fra avdrivningstårnet.

Tabell 9. Temperatur og pH i innløp og utløp fra avdrivningstårnet.

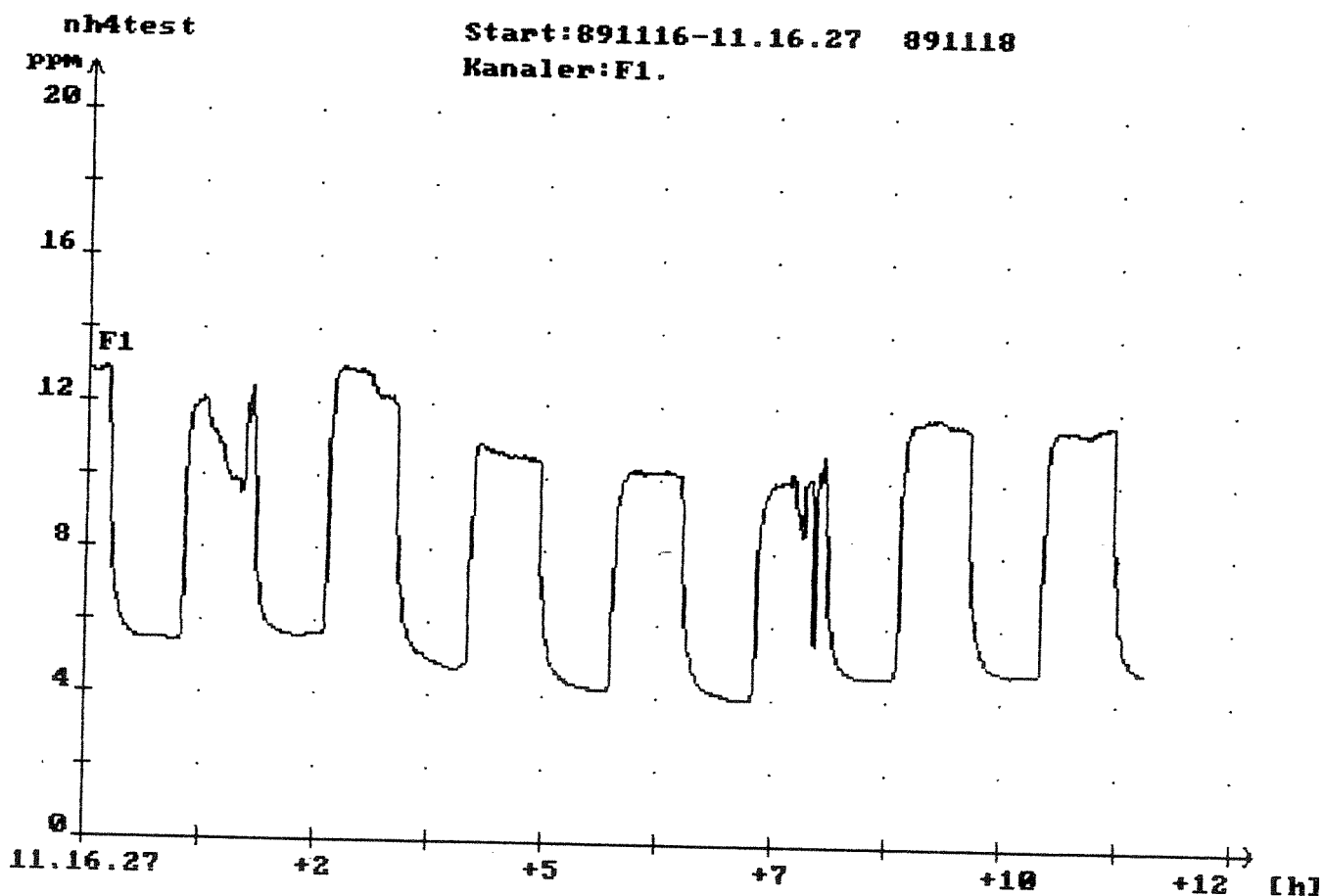
	I n n l ø p			U t l ø p		
	middel	min.	maks.	middel	min.	maks.
Temp. °C	8.8	8.4	9.1	10.8	10.6	11.4
pH	12.0	12.0	12.1	11.9	11.8	12.0

Figur 7 viser verdiene for tot-N og NH₄-N i blandprøvene fra innløp og utløp avdrivningstårnet.



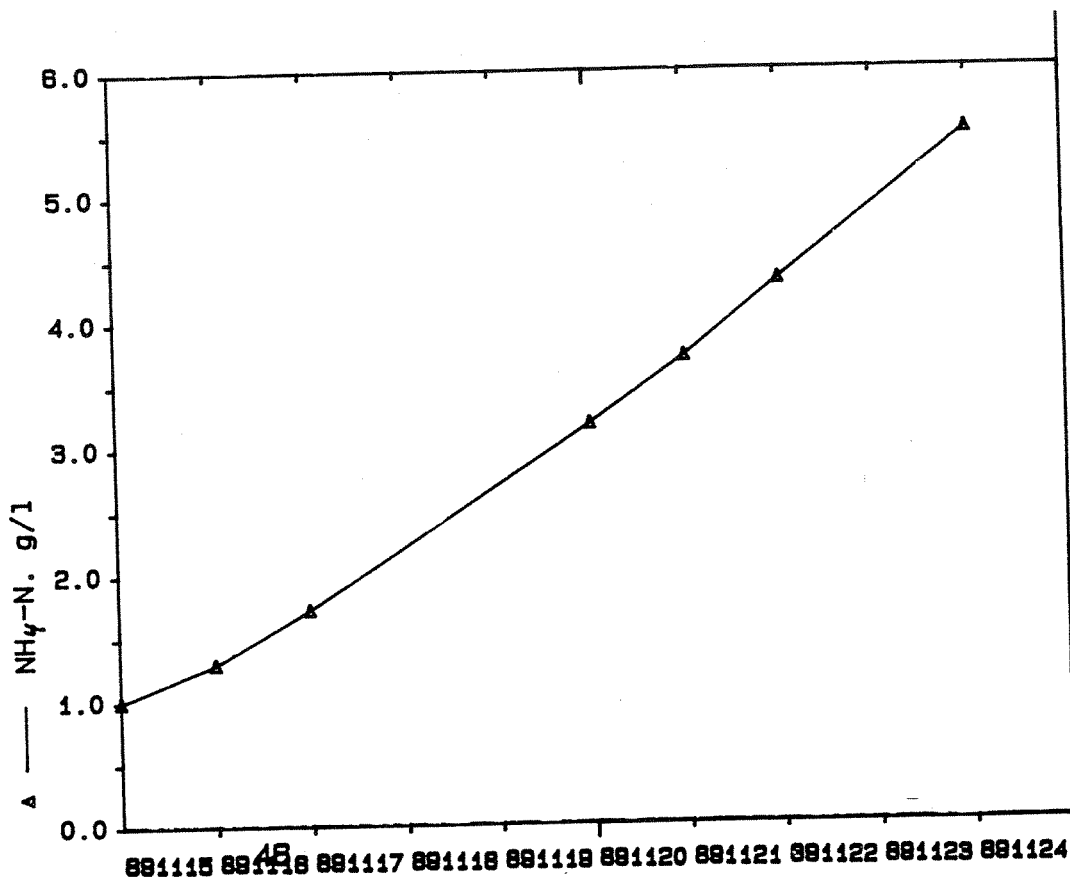
Figur 7. Tot-N og NH₄-N i innløp til og avløp fra avdrivningstårnet i perioden.

Figur 8 viser en utskrift fra de kontinuerlige $\text{NH}_4\text{-N}$ målingene. Figuren viser en 12 timers syklus lørdag på dagtid. Platåfasen angir innløpsverdiene, mens bunnfasen angir utløpsverdiene.



Figur 8. $\text{NH}_4\text{-N}$ konsentrasjoner i innløp til og avløp fra avdrivningstårnet i løpet av en 12-timers syklus. Y-aksen viser $\text{NH}_4\text{-N}$ konsentrasjoner i ppm (mg/l) mens x-aksen viser tiden i timer.

Figur 9 viser økningen i $\text{NH}_4\text{-N}$ konsentrasjonen i syren over tid. pH i syren forandret seg lite i perioden, og var hele tiden lavere enn 0.4.



Figur 9. $\text{NH}_4\text{-N}$ konsentrasjon i syren som funksjon av tiden.

6.3 Diskusjon

Det ble kjørt med noe lavere vannmengde i denne perioden enn tidligere. Dette ga igjen et høyere L/V forhold. Dette, sammen med lavere vanntemperatur i innløpet, kan forklare at temperaturøkningen gjennom avdrivningstårnet var høyere i denne perioden enn tidligere (2.0 °C).

pH i innløpet holdt seg høy og jevn i hele perioden (> 12.0).

Innløpsvannet inneholdt i middel 16.9 mg/l tot-N og 9.7 mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$. Det vil si at bare 57.4 % av totalinnholdet av nitrogen var som $\text{NH}_4\text{-N}$.

Renseeffekten i avdrivningstårnet m.h.p. tot-N var 30.4 % i perioden og 48.7 % m.h.p. $\text{NH}_4\text{-N}$. Den forholdsvis lave renseseffekten på tot-N må sees i sammenheng med den store andelen av organisk bundet nitrogen i innløpsvannet. Denne andelen lar seg ikke fjerne i en avdrivningprosess uten at den hydrolyseres til NH_4 først. Lav vanntemperatur i denne perioden har også vært med å bidra til dårlig

rensresultat, da avdrivningprosessen går senere ved lave temperaturer.

Den kontinuerlige ammoniummålingen fungerte bra etter at det ble kjørt med automatisk kalibrering av elektroden hver 6. time. Det var god overenstemmelse med $\text{NH}_4\text{-N}$ verdiene fra den kontinuerlige målingen og verdiene fra blandprøvene som ble analysert ved NIVA's laboratorier. Som vist i figur 8 var renseseffektene periodevis høyere enn det som framkommer av gjennomsnittsverdiene fra blandprøvene (figur 7).

Med den høye syrekonsentrasjonen som ble benyttet i denne perioden (10 % H_2SO_4), så vi ingen tegn til "metning" og redusert $\text{NH}_4\text{-N}$ fjerning over tid. pH i syren holdt seg lav (<0.4) og det var en tilnærmet lineær absorpsjon av $\text{NH}_4\text{-N}$ i syren over tid, som vist i figur 9.

Totalt ble det fjernet 603.3 gram $\text{NH}_4\text{-N}$ i avdrivningstårnet i perioden. Av dette ble det funnet igjen 576.4 gram i syren ved periodens slutt. Dette utgjør 95.5 % av det som ble fjernet.

7. KONKLUSJON

Resultatene fra våre forsøk viste at nitrogen i kommunalt avløpsvann lar seg fjerne som NH_3 ved avdrivning etter kalkfelling i en integrert prosess med resirkulering av luften. Denne prosessen kan kjøres uten de driftsproblemene som er rapportert tidligere for åpne systemer.

$\text{NH}_4\text{-N}$ andelen av tot-N i innkommende avløpsvann bør være så høy som mulig for å oppnå god fjerning av total nitrogen. Dette taler for at prosessen bør benyttes ved renseanlegg der det har foregått en stor grad av hydrolysering og omdanning av organisk bundet nitrogen til $\text{NH}_4\text{-N}$ før avløpsvannet når renseanlegget. Det bør klarlegges hvilke metoder for stimulering av hydrolyseprosessen som kan være aktuelle å benytte i denne sammenheng.

Ammoniakkavdrivning er en arealgjerrig prosess i forhold til konkurrerende nitrogenfjerningsmetoder. Våre undersøkelser tyder på at prosessen er enkel og drive med stabil renseseffekt. Det er imidlertid viktig å få gjennomført undersøkelser i et optimalisert forsøksanlegg. Det foreligger konkrete forslag til hvordan et slikt anlegg bør utformes.

Resultatene fra våre forsøk sammen med nye energiberegninger som er gjort av Erga og Juliussen (1989), gjør at prosessen bør være et interessant alternativ til biologiske nitrogenfjerningsmetoder.