

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

Av Helge Liltvedt og Lasse Vråle.

Helge Liltvedt er ansatt ved Norsk Institutt for Vannforskning og Lasse Vråle hos Siv.ing. Carl-H. Knudsen A/S. Begge er sivilingeniører i VAR-teknikk.

1. Innledning

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.

Konsulentfirmaet Carl-H. Knudsen A/S (CHK) i Drammen og Norsk institutt for vannforskning (NIVA) anså kombinasjonen av fosfor- og partikelfjerning 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. Forsøksanlegget ble 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.

Det ble 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

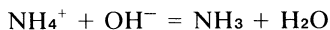
og prøveuttak. Sammendraget av resultatene fra disse periodene er rapportert her. Forsøkene er beskrevet i sin helhet i NIVA-rapport 2412 (Liltvedt og Vråle, 1990). Resultatene må anses som midlertidige da det er muligheter for prosessmessige forbedringer.

Målsettingen med undersøkelsene var å dokumentere hvilke renseeffekter som kunne oppnås i det uoptimaliserte anlegget, hvilke andre endringer i vannkvalitet som skjedde og hvor stabil og leiddrevet prosessen var.

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 prosentdelen skal i hovedsak være organisk bundet nitrogen som uhydrolisert urea. De store konsentrasjonsvariasjonene oppstår i første rekke p.g.a. fortykning av avløpsvannet.

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. Det teoretiske grunnlaget var prosessen beskrevet av Fettig og Ødegaard (1988).

I tidligere avdrivningsanlegg ble det benyttet uteluft uten forvarming. Den NH_3 -holdige gassen ble sluppet ut til atmosfæren via avdrivningstårnet. Dette medførte ising og karbonutfelling på mediet inne i tårnet.

I dag blir det ansett som uakseptabelt å slippe den NH_3 -holdige luften direkte til atmosfæren. Luften må derfor vaskes i surt miljø og kan derved resirkuleres. Salpetersyre og svovelsyre er to aktuelle syrer for NH_3 -absorpsjon. Høy løselighet i det sure pH-området gjør at store mengder NH_3 kan absorberes. Det er tidligere ikke gjort avdrivningsforsøk i Norge med denne type anlegg.

Erfaringene 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). Middeltkonstrasjonene m.h.t. tot-N var henholdsvis 31,3 og 6,8 mg/l i innløp og utløp. Dette tilsvarte 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 avdrivnings- og absorpsjonsanlegg. Driftskostnadene for vifte og pumpe i et anlegg av denne type dimensjonert for 10.000 p.e. e oppgitt til ca. 2,0 kWh pr. m^3 avløpsvann for 83% fjerning av NH_4 -N. Dette gir ca. 0,8 kr/

m^3 i energikostnader når vi regner 0,4 kr/kWh.

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 for åpne anlegg (isdannelse og karbonatutfelling). Teoretisk er det to grunner for at dette skulle lykkes:

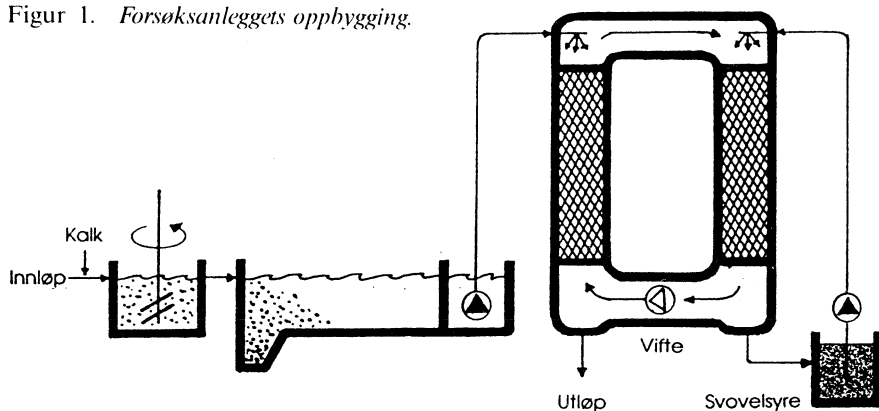
1) Isdannelse på mediet i avdrivningstårnet unngås da luften resirkuleres. Lufttemperaturen i tårnet bestemmes av temperaturen i innkommende vann, temperaturen i bassenghallen og energitilførsel gjennom vifta.

2) Problemene med utfelling av CaCO_3 på mediet i avdrivningstårnet unngås eller reduseres, dette fordi absorpsjon av CO_2 fra luften, som har betydning for CaCO_3 dannelse, reduseres i et lukket system.

2. Beskrivelse av forsøksanlegget

Forsøksanlegget besto av et avdrivningstårn med plastmedium, et vasketårn med plastmedium, en dråpefanger, en syrebeholder med pumpe, vifte og innløpspumpe. Figur 1 viser forsøksanlegget oppbygging. Vann ble pumpet fra utløpsrenna i ettersedimenteringsbassenget på Muusøya renseanlegg og opp i avdrivningstårnet. Dette vannet hadde gjennomgått kalkfelling, pH verdien var derfor høyere enn 11,0. Vannet ble fordelt over tverrsnittet øverst i tårnet og sildret gjennom plastmediet og ut i utløpskummen. Motstrøms ble luft drevet gjennom tårnet v.h.a. vifta. Denne luften ble ført i en lukket krets tilbake til vasketårnet. Syre ble pumpet fra syrebeholderen til toppen av vasketårnet hvor luft-syre kontakt oppstod i plast-

Figur 1. Forsøksanleggets oppbygging.



mediet. Syren ble samlet opp i bunnen av vasketårnet og ledet tilbake til syrebeholderen for rundpumping. I tabell 1 er dimensjonene for anlegget angitt.

En automatisk prøvetaking- og analyserigg sørget for overvåking av vann-

kvaliteten inn til og ut fra forsøksanlegget. Parametere som ble overvåket kontinuerlig var pH, turbiditet, ledningsevne, temperatur og $\text{NH}_4\text{-N}$. Verdiene ble logget og bearbeidet v.h.a. en datamaskin (PC).

Tabell 1. Dimensjoner for forsøksanlegget.

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

Anlegget ble kjørt under følgende betingelser i de 3 første forsøksperiodene:

Vannmengde:	9.8—12.5 l/min (2.1—2.6 m ³ /m ² .h)
Luftmengde:	1990 m ³ /h
Luft/vann:	2653—3372
Syrevolum ved start:	100 l
Syrestyrke:	1% — 10%
Syremengde pumpet:	0.70—1.25 l/min.
Totalt energiforbruk:	1.44 KW, 1.92—2.45 kWh/m ³ .

Det ble i tillegg tatt ut blandprøver for analyse av kalsium, KOF, tot-P, tot-N, NH₄-N og NH₃-N ved innløp og utløp. Prøvene ble syrekonservert på stedet og fraktet til NIVA's laboratorier umiddelbart etter uttak for analyse. Tot-N ble analysert i.h.t. Norsk Standard med oksydering av N-forbindelser til NH₂-N og NH₃-N. NH₄-N ble målt med elektrode etter alkalisering. Stikkprøve fra syrebeholderen ble tatt ut hver dag, bortsett fra lørdager og søndager.

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

4. Resultater og diskusjon

Resultatene fra de 3 undersøkelsesperiodene kan oppsummeres som følger.

1) Det kalkfelte vannet fra utløpet av det kjemiske rensetrinnet og inn til avdrivningstårnet inneholdt lave verdier for tot-N og NH₄-N, henholdsvis 17.5 og 11.8 mg/l basert på middelverdier.

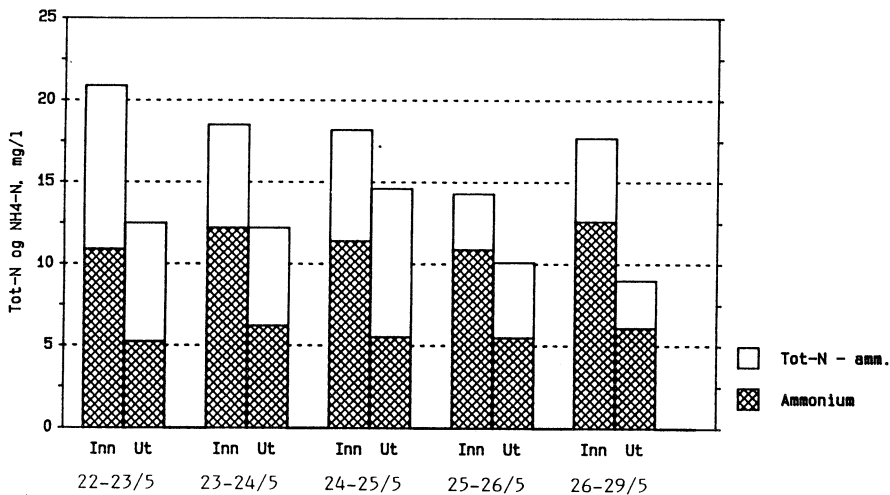
NH₄-N utgjorde ved utløpet av det kjemiske rensetrinnet bare 67.4% av tot-N. NH₃-N verdien var 0.4 mg/l. Dette tyder på at en stor andel nitrogen forelås som uhydrolysert urea.

Prøvene er tatt fra innløp til avdrivningstårnet og reflekterer ikke hva som skjer med nitrogenkomponentene i det kjemiske rensetrinnet. Eventuell fjerning av organisk bundet nitrogen og avdrivning av ammonium til atmosfæren kan påvirke forholdet mellom disse.

For å benytte avdrivning som metode for fjerning av nitrogen fra avløpsvann bør mest mulig av nitrogenet foreligge som NH₄-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 før stripping.

Tabell 2. *Vannkvaliteten inn til avdrivningstårnet (etter kalkfelling) i forsøksperioden fra 22/5—29/5.*

	<i>Middel</i>	<i>Maksimum</i>	<i>Minimum</i>	<i>Antall målinger</i>
pH	12.2	12.5	12.0	kontinuerlig
Temp.	9,9	10.5	9,5	»
Turb., FTU	11.0	27.0	5.0	»
Ledn., uS/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



Figur 2. Konsentrasjonene av $\text{NH}_4\text{-N}$ og tot-N i innløp til og utløp fra avdrivningstårnet i forsøksperioden fra 22/5—29/5. Det skraverete feltet angir andelen av $\text{NH}_4\text{-N}$.

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 gaselektrode 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 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%. Eventuell nitrogenfjerning i det kjemiske trinnet er ikke medregnet. Av $\text{NH}_4\text{-N}$ som ble fjernet fra vannet ble i gjennomsnitt 87,1% funnet igjen i syren.

Figur 2 viser konsentrasjonene av $\text{NH}_4\text{-N}$ og tot-N i innløp og utløp fra avdrivningstårnet i forsøksperioden fra 22/5—29/5.

De lave renseseffektene skyldes flere forhold: Dimensjoneringen av avdrivningstårnet var langt fra 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 kan også bidra til lavere renseseffekt.

4) Vasking av den NH_3 -holdige luften i syre synes enkelt. Konsentrert syre kan absorbere store mengder NH_3 . I periode 1 ble 124,12 m^3 vann rensert. Til dette ble det benyttet 1 liter 97% H_2SO_4 fortynnet i 99 liter vann. Anvendelse av sluttproduktet enten som gjødning i flytende form eller ved inndamping og anvendelse av ammonium-saltet, må undersøkes nærmere.

5) Anlegget forbruker energi som tilføres vifta for sirkulering av luften i systemet. Pumpen som løfter innløpsvannet opp i avdrivningstårnet og pumpen for resirkulering av syren forbruker noe mindre. Totalt ga dette et energiforbruk

på 1.44 kW og 1.02—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) Energiforbruket kan senkes ytterligere uten at dette går ut over renses-effekten.

7) 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 kunne tas ut igjen ved energigjenvinning.

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

- Isdannelse er ikke noe problem så lenge luften resirkuleres og anlegget er plassert i en oppvarmet bassenghall som i våre forøk. Ved bygging av fullskala anlegg kan tårnene isoleres slik at frostproblemer unngås. Vifta tilfører luften varme.
- Noe CaCO₃ ble utfelt i innløpsledningen til avdrivningstårnet, på mediet i tårnet og i ledningene til analyseriggen uten at dette medførte driftsforstyrrelser.
- Fysisk/kjemisk nitrogenfjerning ved avdrivning av NH₃ 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. Dette kan enkelt automatiseres. Det forutsettes at det finnes en mottaker for ammoniumkonsentratet.

— Det var lett å oppnå gode renses-effekter selv ved de laveste innløpskonsentrasjonene.

5. Konklusjon


Resultatene fra forsøkene viser at nitroge n i kommunalt avløpsvann kan fjernes som NH₃ ved avdrivning etter kalkfelling i en prosess med resirkulering av avdrivningsluften. Erfaringene våre tyder på at prosessen kan kjøres uten de alvorlige driftsproblemene som er rapportert tidligere for åpne anlegg.

NH₄-N andelen av tot-N i innkommende avløpsvann bør være så høy som mulig for god nitrogenfjerning. Dette taler for at prosessen muligens kan kombineres med en prosess som stimulerer omdanning av urea til fri ammonium før vannet går inn på avdrivningsanlegget.

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

6. Referanser

- Andersen, M., 1989: Næringsstoffjernelse med kemisk-fysisk metode. Vand & Miljø 5/89, s. 227—229.
- Fettig, J. og Ødegaard, H., 1988: Fjerning av nitrogen i kommunale renselanlegg ved hjelp av fysisk/kjemiske metoder. NHL-rapport, STF60 A89002, 55 s.
- Erga, O., 1989: N-fjerning fra avløpsvann. Vurdering av strippe-prosessen. SINTEF-notat 604755.00, 24 s.
- Juliussen, O., 1989: N-fjerning fra avløpsvann. Grunnlag for kostnadsevaluering. SINTEF-notat, 604755.00, 7 s.
- Juliussen, O., 1989: N-fjerning fra avløpsvann. Foreløpig kostnadsevaluering. SINTEF-notat, 604755.00, 19 s + vedlegg.
- Liltvedt, H. og Vråle, L., 1990: Fjerning av nitrogen fra kommunalt avløpsvann i en integrert avdrivnings- og absorpsjonsprosess. NIVA-rapport 2412, 28 s.



Berdal Strømme a.s. er et av landets største rådgivende ingeniørfirmaer med ca. 450 ansatte. Vårt firma dekker alle felter innen bygningsteknikk og elektroteknikk. Som medeier i Interconsult har vi også oppdrag i utlandet.

VÅR DIVISJON FOR VEI - VAR - MILJØ

Vi prosjekterer:

- 
- 
- 
- Vannverk
 - Avløpsanlegg
 - Ledningsanlegg
 - Renovasjonsanlegg
 - Biogassanlegg
 - Veier
 - Fjernvarmeanlegg

Vi utfører:

- Forprosjektering
- Detaljprosjektering
- Anbudsdokumenter
- Kontroll
- Byggeledelse
- Undervannskontroll
- Saneringsplanlegging
- Lekkasjeundersøkelser
- Trafikkanalyser
- Konsekvensanalyser
- Vannbruksplanlegging
- Beredskapsplanlegging
- Tidsanalyser
- Driftsassistanse
- Vannanalyser
- Forskning
- Utredninger
- Støymålinger



Berdal Strømme

Rådgivende Ingeniører
Kjørboveien 25, 1300 Sandvika

Oslo, Tønsberg, Larvik, Stathelle, Hønefoss, Hamar, Elverum, Lillehammer, Stavanger, Molde, Ålesund, Trondheim, Fauske, Harstad