

# **JTI-rapport**

## Kretslopp & Avfall

# **40**

# Ammoniakavgång från luftade dammar med lakvatten – ett problem?

Lena Rodhe, Magnus Fridolfsson,  
Marianne Tersmeden, Thomas Lardh,  
Karin Karlsson och Anders Ringmar



JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik

---

# **2008**



# Ammoniakavgång från luftade dammar med lakvatten – ett problem?

*Ammonia emissions from aerated landfill leachate: a problem?*

Lena Rodhe, Magnus Fridolfsson, Marianne Tersmeden,  
Thomas Lardh, Karin Karlsson och Anders Ringmar



# Innehåll

Förord.....	5
Sammanfattning .....	7
Summary .....	8
Introduktion .....	9
Luftningsanläggningen på Atleverket.....	9
Ammoniakavgång .....	12
Mål.....	13
Material och metod .....	13
Pilotskaleförsök .....	13
Experimentellt upplägg.....	13
Anläggning .....	13
Fyllning med lakvatten .....	15
Luftning inklusive kalibrering .....	15
Mätrutiner .....	15
Lakvattnets egenskaper.....	15
Väderregistrering .....	16
Ammoniakmätning .....	16
Luftade dammen på Atleverket – fullskala.....	17
Förhållanden i luftade dammen .....	17
Totala kväveförluster .....	17
Beräkning av ammoniakavgång i luftade dammen utifrån resultat i pilotskala.....	18
Resultat .....	18
Pilotskaleförsök .....	18
Analyser lakvatten .....	18
Väderlek.....	18
Förhållanden i lakvattnet under luftning .....	19
Massbalansberäkning.....	19
Ammoniakavgång och -nedfall .....	20
Luftade dammen på Atleverket – fullskala.....	21
Förhållanden i luftade dammen .....	21
Totala kväveförluster .....	21
Beräknad ammoniakavgång från den luftade dammen .....	22
Förslag till fortsatt drift.....	23

Diskussion.....	24
Pilotskala.....	24
Nedskalning .....	24
Ammoniakavgång.....	24
Kvävebalanser .....	25
Fullskala.....	25
Slutsatser.....	26
Referenser .....	27
Bilaga 1. Dimensioneringsunderlag för pilotskalanläggningen.....	29
Bilaga 2. Instruktioner luftning av lakvatten .....	31
Bilaga 3. Analysvärden för lakvatten .....	33

## Förord

Vid luftning av vätskor innehållande ammoniumkväve finns risk för gasformiga förluster i form av ammoniak. JTI har tidigare studerat ammoniakavgång från flytgödsel och urin i lager och använder här samma mätmetodik för att studera eventuella ammoniakförluster i samband med luftning av lakvatten från Atleverkets avfallsanläggning.

Projektet har genomförts som ett samarbete mellan JTI och Tekniska förvaltningen i Örebro. Projektet har haft en referensperson, Anna Turesson vid VAFAB Miljö AB, som bidragit med sina kunskaper vid planering av försöket. Lena Fahlgren med kolleger vid ITT Flygt AB har generöst bidragit med hjälp vid dimensionering och konstruktion av luftningen i pilotskala.

Projektet har finansierats av Avfall Sverige AB och Tekniska förvaltningen, Örebro kommun.

Vi vill rikta ett stort tack till alla de som på olika sätt bidragit till genomförandet av studien.

Uppsala i januari 2008

*Lennart Nelson*

VD för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik





## Sammanfattning

Ammoniak bidrar till övergödning och försurning och därför har Sverige och EU satt upp mål för att minska luftutsläppen. Jordbrukssektorn svarade för nästan 85 % av den totala ammoniakavgången år 2003 och resten kom främst från transporter och industri. Det kan också finnas ytterligare källor som inte är uppmärksammade. En sådan tänkbar källa är lakvattendammar, speciellt de som är luftade.

Målet med denna studie var att kvantifiera ammoniakavgången från den luftade lakvattendammen på Atleverket i Örebro. För att uppnå detta, mättes ammoniakavgången från luftat lakvatten i pilotskala och dessa data användes sedan för att beräkna förlusterna från fullskaledammen. Projektet skulle också leda fram till förslag på hur man kan styra en befintlig anläggning för att minska risken för ammoniakavgång.

Studien bygger på att ammoniakavgången mäts från en pilotskalanläggning i vilken förhållandena i den stora luftningsdammen efterliknas. Det gällde lakvattnets egenskaper (näringskoncentrationer, temperatur, syrehalt), flödesmängd in och ut ur behållaren, luftningsteknik och dimensionerade luftningsmängder i förhållande till volym. Studierna utfördes under två olika säsonger: A) Senvinter/vår och B) Sensommar/höst för att mäta ammoniakemissionerna under två olika temperaturförhållanden. Ammoniakavgången mättes från behållaren med hjälp av en mikrometeorologisk massbalansmetod, som bygger på att så kallade flux-provtagare placeras på fyra master runt den ammoniakkälla som studeras.

Utifrån uppmätt ammoniakavgång i försöksuppställningen kan avgången från den luftade dammen skattas under vald period. Beräkningar utfördes för dels hela året, dels för en period under sensommaren då det pågick mätning av ammoniakavgången i pilotskalan. Beräkningarna baserades på temperaturförhållandena och medelnivån i den stora luftade dammen under år 2006 eller aktuell period.

Lakvattnet vid Atleverket innehöll en relativt hög kvävehalt, med årsmedelhalter för det obehandlade lakvattnet på ca 510 mg totalkväve/l varav ammoniumkvävehalten var 420 mg/l.

Mätningarna i pilotskalan visade att det sker en förlust av ammoniak vid luftning av lakvattnet. Vid vårmätningen då lakvattentemperaturen i medel var 12,0 °C uppgick förlusten till 0,34 g N/m<sup>2</sup> och dygn. Vid sensommarmätningen då lakvattentemperaturen i medeltal var 13,3 °C och luftningen resulterade i något högre syreöverskott, var förlusterna 1,52 g N/m<sup>2</sup> och dygn. Förlusten under våren utgjorde 0,3 % av ingående mängd kväve i den luftade behållaren i pilotskalan. Under sensommaren var motsvarande förlust 3 %. För behållaren utan luftning var ammoniakdepositionen högre än emissionerna till följd av höga halter i omgivande luft.

Minst ca 2,2 ton kväve/år beräknas avgå som ammoniak från den luftade lakvattendammen vid Atleverket. Det motsvarar ca 9 % av den totala kväveförlusten 23,8 ton under år 2006 eller utgör ca 4 % av den ingående mängden kväve i den luftade dammen.

Under framförallt juli och augusti när temperaturtoppen hos lakvattnet normalt infaller bör fokus vara att minimera luftningen och minimera antalet omrörare i drift för att på så sätt minska avdrivningen. Lakvattnets uppehållstid bör också minimeras. Ammoniakavgången från lakvatten i luftade dammar i Sverige kan skattas till högst ca 0,3 % av det totala beräknade ammoniakutsläppet i landet.

## Summary

Ammonia contributes to eutrophication and acidification and therefore Sweden and the EU have set up targets to reduce ammonia emissions. The agricultural sector in Sweden produced almost 85% of total ammonia emissions in 2003, with the remaining 15% originating mainly from transport and industry. There may also be additional sources that have not been taken into account, such as landfill leachate lagoons, especially those that are aerated.

The objectives of this study were to quantify nitrogen losses in the form of ammonia from aerated landfill leachate in a lagoon at Atleverket in Örebro and identify ways of reducing the risk of ammonia emissions from such installations.

The study was based on measurements of ammonia emissions from a pilot-scale plant, where the conditions in the large aerated lagoon were imitated in a 5 m<sup>3</sup> container. These conditions included properties of the landfill leachate (nutrient concentrations, temperature, oxygen content), water exchange in and out of the container, aeration technique and dimensioned aeration quantities in proportion to volume. A non-aerated container was also prepared. The studies were conducted during two different seasons, late winter/spring and late summer/autumn, in order to measure the ammonia emissions under different temperatures. The ammonia emissions from the leachate were determined using a micrometeorological mass balance method where flux samplers were placed on four masts around the container.

Based on the ammonia emissions data for the pilot-scale plant during the two study periods, the emissions from the full-scale aerated lagoon were calculated for the whole year. In addition, the emissions for the late summer period, the time of peak emissions, were calculated separately. These calculations were based on the temperature conditions and the average volume/level in the large aerated lagoon for the year 2006 or the late summer period.

The untreated landfill leachate at Atleverket contained a relatively high mean annual content of nitrogen, 510 mg total nitrogen/L, while the content of ammonium nitrogen was 420 mg/L. The pilot-scale study showed that ammonia losses occurred during aeration of the landfill leachate. In spring, when the temperature in the landfill leachate was 12.0°C, these losses were 0.34 g N/m<sup>2</sup> and day. In late summer, when the mean temperature in the landfill leachate was 13.3°C and the aeration resulted in a slightly higher oxygen surplus, the corresponding losses were 1.52 g N/m<sup>2</sup> and day. The ammonia losses during spring and summer constituted 0.3% and 3% respectively of the incoming nitrogen in the aerated pilot-scale container. For the non-aerated container, ammonia emissions were exceeded by high ammonia deposition from the surrounding air.

It was estimated that at least 2.2 tonnes ammonia nitrogen per year are lost from the aerated landfill leachate lagoon at Atleverket. That corresponded to about 9% of the total nitrogen losses of 23.8 tonnes during 2006 or 4% of the incoming nitrogen in the aerated pool. Overall, ammonia emissions from landfill leachate in aerated pools in Sweden can represent up to 0.3% of total ammonia emissions in the country.

This study identified some steps to minimise ammonia losses. During July and August, when the temperature peak in the leachate water usually occurs, the focus should be on minimising aeration and decreasing the number of stirrers in operation in order to reduce the ammonia emissions. The retention time of the landfill leachate should also be as short as possible.

## Introduktion

Ammoniak bidrar till övergödning och försurning och därför har Sverige och EU satt upp mål för att minska luftutsläppen (Directive 2001/81/EC). Under 2003 beräknades utsläpp av ammoniak till luft i Sverige till sammanlagt ca 55 600 ton (SCB, 2004). Jordbrukssektorn svarade för nästan 85 % av den totala ammoniakavgången och resten kom främst från transporter och industri. Det kan också finnas ytterligare källor som inte är uppmärksammade. En sådan tänkbar källa är lakvattendammar, speciellt de som är luftade.

I hela landet finns många deponier som renar vatten i luftade dammar. Det kan vara den huvudsakliga reningen eller en del i ett större reningssystem. Vid ca 148 anläggningar i Sverige sker någon form av lokal behandling av lakvatten och vid åtminstone 86 st av dessa finns luftade dammar men troligen vid fler (Rihm, pers. medd.). Det finns inte någon nationell sammanställning av hur stora volymer som behandlas i dessa anläggningar men den varierar troligen avsevärt. Syftet med denna rening är bl.a. att kväve ska avgå i form av kvävgas ( $N_2$ ), för att förhindra övergödning och försurning av vatten och luft.

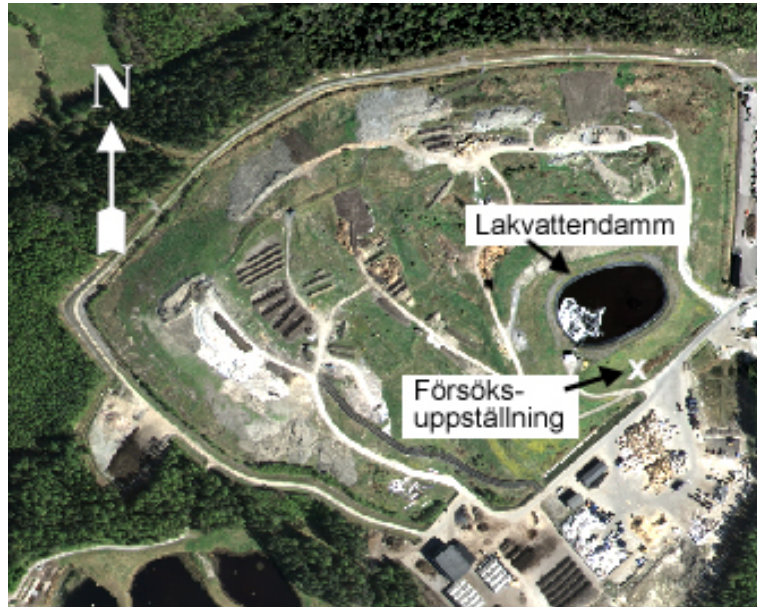
## Luftningsanläggningen på Atleverket

På Atleverket har ca 2 500 000 m<sup>3</sup> avfall och jordmassor deponerats sedan 1979. Deponeringen av hushållsavfall avslutades i stort sett 2003 och mängden deponerat organiskt och brännbart avfall har minskat kraftigt sedan dess. Från 2003 omlastas hushållsavfallet, ca 30 000 ton/år, på en öppen platta vilket genom nederbörd bidrar till lakvattensammansättningen trots att inget av detta avfall deponerats. Alltsedan 2005 har ca 15 000 ton avfall deponerats/år och detta avfall innehåller endast små mängder organiska föroreningar. Rötat avloppsslam har periodvis deponerats på anläggningen mellan 1979 och 2002 men sedan dess mellanlagras slammet på Atleverket innan det sprids på mark avsedd för odling av *Salix*. Från 1995 har Atleverket komposterat matavfall. Mängderna har successivt ökat och under 2006 behandlades ca 6 000 ton matavfall från hushåll, restauranger och storkök.

Ovan beskrivna aktiviteter ger upphov till det lakvatten som produceras på Atleverket. Lakvattnet är en blandning av perkolat från deponin och förorenat dagvatten från sortering och behandlingsytor. Jämfört med många andra kommunala deponier i landet är kvävehalten i det obehandlade lakvattnet relativt hög. Enligt en studie av Cerne *et al.* (2007) var medelhalten för totalkväve (N-tot) 270 mg/l vid 22 st undersökta deponier i Sverige. Medelhalten i det obehandlade lakvattnet på Atleverket har sedan 2002 varit ca 510 mg/l för N-tot och ca 420 mg/l för ammoniumkväve ( $NH_4-N$ ).

Lakvattnet på Atleverket samlas upp och långtidsluftas i en öppen 20 000 m<sup>3</sup> stor damm, bild 1-3. Syftet med att lufta lakvattnet är att dels bryta ned och oskadliggöra organiskt material, dels att oxidera järn för att få en flockbildning som bidrar till metallreduktion samt reducera kväve. I den luftade dammen är fokus på att nitrifiera  $NH_4-N$  men där sker även denitrifikation. När kvävereningen fungerar bra, normalt maj-november, pumpas lakvattnet vidare till en våtmark där huvudsyftet är att denitrifiera nitratkväve ( $NO_3-N$ ) men även att avskilja suspenderat material, metaller samt ytterligare reducera mängden organiskt material. Efter våtmarken passerar vattnet en mätpunkt, för vilken fastställda riktvärden finns. Därefter går

vattnet vidare till recipienten som är Täljeån. Täljeån mynnar i Hjälmarens som i sin tur avvattnas till Östersjön via Mälaren. Vintertid när temperaturen i lakvattnet vanligtvis är lägre än 3 °C fungerar inte kvävereningen tillfredsställande. Då pumpas vattnet istället till Örebro kommuns avloppsverk. När sedan vattentemperaturen i lakvattendammen på våren stigit upp till ca 10-12 °C kommer nitrifikationen igång och vattnet kan då normalt pumpas till våtmarken igen. I bild 4 visas lakvattnets kvävehalter och temperaturer under 2005-2006 i den luftade dammen.



*Bild 1. Flygfoto av lakvattendammen på Atleverket.*



*Bild 2. Lakvattendammen vid Atleverket. Till vänster om inspektionsbryggan finns luftningszonen och omrörarpropellrar.*



Bild 3. Luftade zonen i dammen.

Full damm motsvarar ca 6 844 m<sup>2</sup> vätskeyta. En kompressor och 200 st membranluftare förser vattnet med luft och 3 st propelleromrörare sköter omrörningen. Luftarna sitter ca 1,5–4 m under vattenytan beroende på nivån i luftningsdammen.

Under 2006 behandlades 95 714 m<sup>3</sup> lakvatten i den luftade dammen. Det obehandlade lakvattnet innehöll ca 47,9 ton N-tot varav 33,5 ton var NH<sub>4</sub>-N. Efter behandling pumpades 81 235 m<sup>3</sup> för vidare behandling i våtmark medan 11 689 m<sup>3</sup> pumpades till kommunens avloppsreningsverk.

Totalt innehöll det utpumpade vattnet 6,7 ton NH<sub>4</sub>-N och 9,7 ton nitratkväve (NO<sub>3</sub>-N). Under behandlingen i dammen minskade därmed halten NH<sub>4</sub>-N medan NO<sub>3</sub>-N ökade. I tabell 8 presenteras en kvävebalans för dammen år 2006. Behandlingen av lakvattnet i den luftade dammen resulterade i en kvävereduktion av ca 23,7 ton kväve för år 2006.

I bild 4 kan tydligt sambandet mellan temperatur och funktion på kvävereningen utläsas. Vid höga temperaturer sjunker halterna av N-tot och NH<sub>4</sub>-N. I september 2005 kan en intressant puckel på ammoniumkurvan noteras. Den orsakades av att omrörarna var avstängda under en vecka. På grund av detta uppstod syrebrist och nitrifikationen avstannade omedelbart. Det tog sedan flera veckor för systemet att återhämta sig.

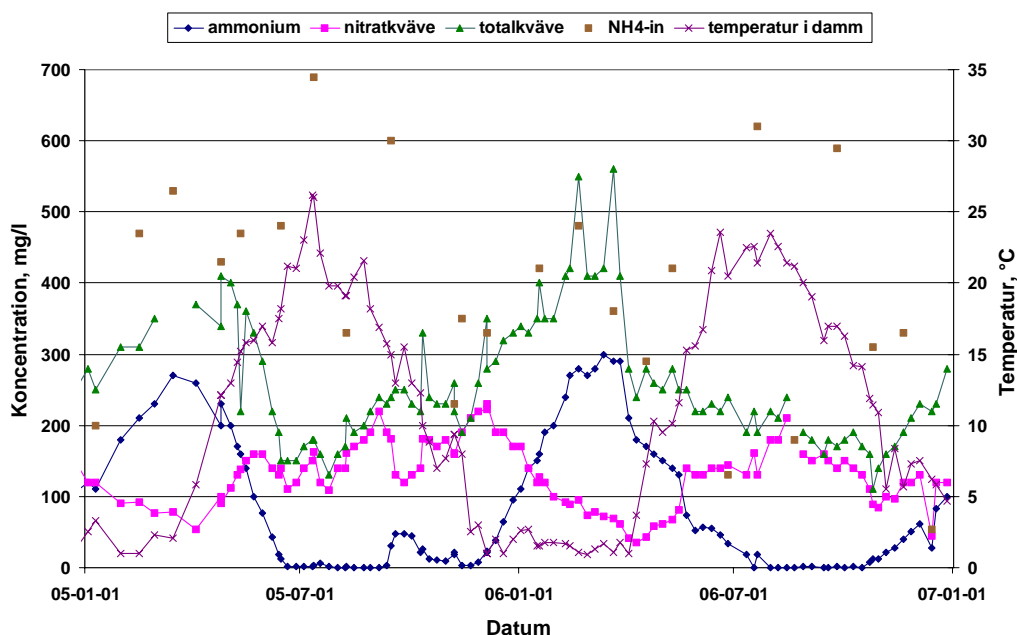


Bild 4. Innehåll av ammoniumkväve, nitratkväve, totalkväve och temperatur hos lakvatten i den luftade dammen på Atleverket under 2005-2006. Koncentration av ammoniumkväve i inkommande lakvatten redovisas också som referens.

Temperaturkurvan visar att under ca 5,5 månader per år är temperaturen hos lakvattnet över 10 °C och under ca 4 månader endast ca 1-3 °C och resterande 2,5 månader mellan 3 och 10 °C. Medeltemperaturer för dessa perioder har sammanställts i tabell 9.

## Ammoniakavgång

Känt är att hög temperatur och vindhastighet samt egenskaper som högt pH och innehåll av ammoniumkväve gynnar ammoniakavgången (Svensson, 1994) från organiska gödselprodukter. Ammoniakavgången ökar exponentiellt med ökad temperatur. Under sommaren kan t.ex. ammoniakavgången bli hög från lagringsbehållare med djururin som både har ett högt pH, över 8, (Rodhe, 1996) och relativt högt innehåll av  $\text{NH}_4\text{-N}$  enligt Steineck *et al.* (1999). Lakvattnet vid Atleverket har också högt pH, ca 8, större delen av kvävet är i form av  $\text{NH}_4\text{-N}$ , och den luftade dammen är högt belägen (vindhastigheten ökar med höjden). Olämplig luftning kan också driva av kvävet. Skillnaden mot t.ex. djururin är dock att halten  $\text{NH}_4\text{-N}$  i lakvattnet är lägre, ca 100-700 mg/l (Örebro kommun, 2005; 2006). Enligt Steineck *et al.* (1999) är medelhalten av  $\text{NH}_4\text{-N}$  i lagrad nötflytgödsel 1 800 mg/l och i lagrad nöturin 1 400 mg/l.

Potentialen för ammoniakavgång från lakvatten har studerats i laboratorieskala (RVF, 2003). Slutsatsen var att "ammoniak strippas till luften i relativt begränsad omfattning" även när pH drevs upp till 9,2 i laborieförsöket. I den luftade fullskaledammen var kväveförlusten upp till 23 % av totalkväveinnehållet enligt en kvävebalansberäkning för dammen. Kväveförlusten förklaras av ammoniakavgång, kväveupptag i slam som sedimenterat, avdrivning av kvävgas som bildats genom denitrifikation samt en viss frigörelse av ammonium genom mikrobiell nedbrytning i bottenlammet. Författarna föreslår fortsatta studier i ämnet och då bl.a. i syfte att utveckla system för kontinuerlig mätning av ammoniak i gasfasen för att mäta hur mycket som avgår.

## Mål

Överordnat mål är att minska de nationella utsläppen av ammoniak och därmed försurning och övergödning av land och hav. Målet med denna studie var dels att se potentialen för ammoniakavgång hos lakvatten genom mätning av ammoniakavgången från luftat lakvatten i pilotskala, dels grovt beräkna totala ammoniakavgången från den luftade lakvattendammen på Atleverket. Projektet skulle också leda fram till förslag på hur man kan styra en befintlig anläggning för att minska risken för ammoniakavgång.

## Material och metod

### Pilotskaleförsök

#### Experimentellt upplägg

Studien bygger på att ammoniakavgången mäts från en pilotskaleanläggning i vilken förhållandena i den stora luftningsdammen efterliknas. Det gällde:

- lakvattnets egenskaper (näringskoncentrationer, temperatur, syrehalt)
- flödesmängd in och ut ur behållaren i förhållande till lagringsvolym utifrån uppehållstiden i dammen
- luftningsteknik och dimensionerade luftningsmängder i förhållande till volym.

Studierna utfördes under två olika säsonger: A) Senvinter/vår och B) Sensommar/höst för att mäta ammoniakemissionerna under två olika temperaturförhållanden. Vid första tillfället eftersträvades svalare förhållanden med en medeltemperatur hos lakvattnet mindre än 10 °C och vid det senare tillfället varmare förhållanden, med lakvattentemperaturer över 10 °C. På sensommaren mättes även ammoniakavgången från oluftat lakvatten som referens. Utprovning av luftning och mätning av ammoniakavgång utfördes i pilotskala enligt tabell 1.

Tabell 1. Tider för intrimning av luftning och mätning av ammoniakavgång samt ingående försöksled 1) Lakvatten med luftning och 2) Lakvatten utan luftning under de två mät-säsongerna.

Säsong	Intrimning, provexponering NH <sub>3</sub> -provtagare	Inväntan provsvar, ytterligare intrimning	Start	Tid NH <sub>3</sub> -mätning	1) Lakvatten med luftning	2) Lakvatten utan luftning
A. Vår	23 mars – 29 mars	30 mars – 17 april	18 april	23 april – 4 maj	X	Ingen mätning
B. Sensommar			27 aug.	31 aug. – 12 sept.	X	X

### Anläggning

Två behållare med diameter 1,9 m och 2,8 m<sup>2</sup> yta placerades på Atleverkets anläggning i Örebro, bild 5 och 6. Luftningsbehållaren hade höjden 2,1 m (1,8 m till breddavlopp) vilket ger volymen 5,04 m<sup>3</sup> och behållaren utan luftning hade höjden 1 m (2,8 m<sup>3</sup> volym). Luftningsbehållaren utrustades med ett luftningssystem som dimensionerades så att det gav likartade förhållanden som i lakvattendammen på Atleverket. I botten monterades en membranluftare (Flygt Sanitaire tallriksluftare),

som är likadan som de 200 st luftarna i stora luftningsdammen på Atleverket. Membranluftaren är försedd med många små hål, för att skapa små luftblåsor som ska gynna en effektiv syreöverföring från luft till vatten. Luftaren har en ytterdiameter av 0,26 m och den placerades ca 0,2 m från kanten i botten av den luftade behållaren. Luft trycktes med hjälp av en kompressor (BIAB AO 170 E-50) genom membranet. Kolvkompressorn var gjord för intermittent drift och var oljefri, så att det inte skulle bli några oljerester i tryckluften. Kompressorn var kopplad till en gasflödesmätare (Fluid Inventor AB GD-100) och flödet kunde regleras med en ventil. Från början var det också tänkt att vattnet i luftningsbehållaren skulle hållas i sakta rörelse med hjälp av en dränkbar pump, men det visade sig att luftaren i sig själv gav en effektiv omrörning. Det fanns också risk för att den dränkbara pumpen skulle ge en oönskad uppvärmning av vattnet. Se dimensioneringsunderlag i Bilaga 1.

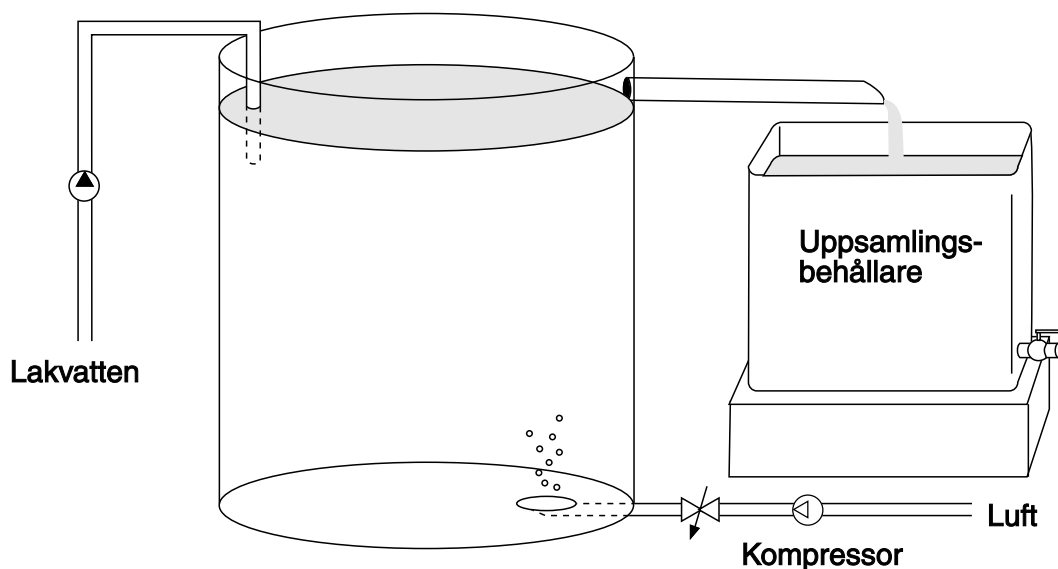


Bild 5. Principbild över den luftade behållaren.



Bild 6. Den vitmålade behållaren med luftare samt den mörkgröna behållaren utan luftning. På masterna placerades provtagare under mätperioderna, vilka fångade upp ammoniaken från lakvattnet samt eventuell bakgrundsexponering.



## Fyllning med lakvatten

Från ett djup av minst 1 m sögs med slambil lakvatten från Atleverkets stora damm och transporterades till pilotbehållaren/na. Denna volym representerade lakvatten som behandlats 1-43 dagar. För att likna det verkliga lakvattensystemet tillsattes därefter 170 liter helt orenat lakvatten varje dag samtidigt som luftat lakvatten fick rinna ur behållaren via ett breddavlopp ned i en uppsamlingsbehållare. Denna matning alla arbetsdagar motsvarade en uppehållstid hos lakvattnet av ungefär 43 dagar, vilket råder i den stora dammen på Atleverket under vintern. På sommaren är uppehållstiden vanligtvis något kortare, ca 20 dagar, men kan variera beroende på hur mycket nederbörd som faller samt även beroende på temperatur och vindförhållanden då avdunstningen sommartid är avsevärd.

## Luftning inklusive kalibrering

Enligt beräkning var det teoretiska luftbehovet  $0,76 \text{ Nm}^3/\text{h}$  vid kontinuerlig drift. Membranluftaren krävde dock luftflöden på  $1-6 \text{ Nm}^3/\text{h}$ , vilket kan uppnås vid intermittent drift. Inledningsvis ställdes ett flöde in på  $1,5 \text{ Nm}^3/\text{h}$  med 2 minuters körtid och 2 minuters paus för kompressorn. Luftningen styrdes efter att lakvattnet skulle ha ett syreöverskott helst över 2 mg syre per liter. I första hand skulle tiden för luftning respektive icke luftning justeras eftersom luftmängden  $1,5 \text{ Nm}^3/\text{h}$  gav en lagom omrörning (rörelse i hela behållaren, men inget skvimpande). Vid vårmätningen erhöles stabila syrehalter vid 4 minuters körtid och 2 minuters paus för kompressorn, vilket innebar en medelluftmängd av  $1 \text{ Nm}^3/\text{h}$ . Det tog dock ganska lång tid innan vi lyckades hitta nivån när syrehalten låg stabilt i lakvattnet. Vid sensommarluftningen blev körtiden 3 minuter och paustiden 2 minuter, vilket motsvarar medelluftmängden  $0,9 \text{ Nm}^3/\text{h}$ .

## Mätrutiner

Prover av lakvattnet togs ut i samband vid fyllningen (samlingsprov för båda behållarna vid fyllning) och vid slutlagring/luftning för analys. Dessutom togs prover av lakvatten in respektive ut vid varje fyllning med färskt lakvatten i luftningsbehållaren. Tyvärr saknas prov från slutlagring av oluftat lakvatten på sensommaren. I Bilaga 2 visas instruktionerna för operatören av anläggningen.

## Lakvattnets egenskaper

Lakvattnet analyserades med avseende på suspenderande ämnen (SS), pH, totalkväve (N-tot), ammoniumkväve ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), nitratkväve ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), nitritkväve ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ),  $\text{BOD}_7$ , TOC, fosfor ( $\text{P}_{\text{tot}}$ ) och järn (Fe).

Dagligen mättes med ett handinstrument (HQ30D.99.305000 från Hach Lange AB) syrehalt, pH och temperaturen hos lakvattnet i den luftade behållaren, bild 7. För syremätning anslöts syregivaren (LDO, Dissolved oxygen probe) med 5 m kabel.



*Bild 7. Mätning av syrehalt, pH och temperatur hos lakvattnet i den luftade behållaren.*

## Väderregistrering

Under ammoniakmätningarna mättes kontinuerligt lufttemperaturen, vindhastigheten och vindriktningen ca 1,85 m över markytan och nederbörd med en fältstation av fabrikat Vaisala WXT 510. I en logger lagrades medelvärden per timme och dessa data kunde hämtas hem trådlöst via det globala systemet för mobil kommunikation (GSM-nätet). Stationen placerades ca 10 m söder om behållarna.

## Ammoniakmätning

Ammoniakavgången mättes från behållarna med hjälp av en mikrometeorologisk massbalansmetod, som bygger på att så kallade fluxprovtagare (bild 8) placeras på fyra master runt den ammoniakkälla som ska studeras (bild 6). Metoden är tidigare beskriven av Schjørring m.fl. (1992) och Karlsson (1996). Provtagarna placeras på masterna vid mätningens början och fick under en given exponeringsperiod samla upp den del av det totala ammoniakfluxet som omfattas av provtagarnas öppningsarea. Med fyra master runt varje ammoniakkälla kan mätningen ske oavsett vindriktning. Vid avslutad mätning togs provtagarna ned, märktes upp och analyserades på JTI:s eget laboratorium för analys av ammoniakkväveinnehållet. Provtagarna monterades på fyra olika nivåer; 0,18; 0,73; 1,82 respektive 4,00 m över marken. I början gjordes en extra provexponering med provtagare under sex dygn för att bedöma lämplig exponeringstid utifrån uppmätta emissioner. Det visade sig att provtagarna lämpligen exponerades minst under 10 dygn. I praktiken blev det en exponeringstid av 261 timmar för provtagarna under vårmätningen och 287 timmar under sensommarmätningen.



*Bild 8. Parvisa passiva fluxprovtagare för mätning av ammoniakavgången från lakvatten. Glasrören är invändigt belagda med ett tunt lager oxalsyra som har till uppgift att binda ammoniak i den luft som passerar genom provtagaren under exponeringen. Totalt exponeras 32 stycken provtagare placerade på master runt behållaren på olika höjd under en mätperiod.*

## **Luftade dammen på Atleverket – fullskala**

### **Förhållanden i luftade dammen**

Temperatur, syrehalt och pH mättes regelbundet i vattnet. Parametrarna mättes med ett handinstrument (HQ30D.99.305000 från Hach Lange AB) med mätsond. Även vattennivån registrerades med hjälp av ett måttband (ljuslod).

Under den första mätperioden pågick tömning och ingen inpumpning till den stora luftade dammen. Skälet till detta var att bassängen skulle repareras och måste därmed tömmas.

Till följd av sommarens reparationer i den stora luftade dammen pågick fyllning av dammen utan tömning under den andra mätperioden.

### **Totala kväveförluster**

Med hjälp av beräknad startmängd av kväve i lakvattnet, inkommande mängd kväve, tömd mängd och slutmängd i den luftade dammen gjordes en kvävebalans och potentialen för ammoniakavgången beräknades för den stora luftade dammen. Denna beräkning utfördes dels för andra perioden då mätning pågick i pilotskalan, dels för ett helt år med 2006 års data som grund.

## Beräkning av ammoniakavgång i luftade dammen utifrån resultat i pilotskala

Utifrån uppmätt ammoniakavgång som erhålls som g/dygn och m<sup>2</sup> i försöksuppställningen kan ammoniakavgången från den luftade dammen beräknas under vald period. Beräkningar utfördes för dels hela året, dels för perioden (12 dagar) under sensommaren då det pågick mätning av ammoniakavgången i pilotskalan.

Årsberäkningarna baserades på temperaturförhållandena i stora luftade dammen, se Introduktion. Medelnivån över året i behållaren motsvarade en vätskeyta av 6 044 m<sup>2</sup>. Under resultat redovisas beräkningarna mer ingående.

Beräkningarna för den 12 dagar långa perioden under sensommaren baserades på nivå och motsvarande vätskeyta samt kvävemängder som faktiskt rådde under den aktuella tidsperioden.

De beräknade kväveförlusterna i form av ammoniak relaterades slutligen till den totala kväveminskningen i dammen under respektive period.

## Resultat

### Pilotskaleförsök

#### Analyser lakvatten

I bilaga 3 presenteras detaljerade analyser av lakvattnet vid start, vid avslut och för samlingsprov av lakvatten påfyllt respektive tömt från luftningsbehållaren för de två olika mättillfällena.

#### Väderlek

I tabell 2 visas väderförhållandena under ammoniakmätningarna för de två olika mätperioderna. Väderregistreringarna visade att det var större variationer i lufttemperatur under vårmätningen än vid sensommarmätningen. Det var dock inte så stor skillnad i medeltemperatur där den var 10,0 °C under våren och 10,8 °C under sensommaren. Vinden var lugn till måttlig och kom främst från väster och norr, dvs. med riktning från lakvattendammen. Under sensommaren föll sammanlagt 33 mm regn under ammoniakmätningen, vilket motsvarade 92 liter vatten i respektive behållare.

Tabell 2. Temperatur, vindhastighet, nederbörd samt vindriktning under ammoniakmätningarna under de två säsongerna.

Säsong	Lufttemperatur, °C			Vindhastighet, m/s			Nederbörd, mm	Vindriktning, % av tiden			
	Medel	Max	Min	Medel	Max	Min		N	S	Ö	V
A. 23 april – 4 maj	10,0	22,8	-0,9	1,5	3,9	0,2	0,6	25	12	19	44
B. 31 aug. – 12 sept.	10,8	9,1	0,2	1,3	4,3	0,2	33,4	24	22	13	41

## Förhållanden i lakvattnet under luftning

De dagliga mätningarna av syrehalt, pH och temperatur hos lakvattnet i den luftade behållaren redovisas i tabell 3. Under helgerna utfördes inga mätningar, men vid beräkning av medel-, min- och maxvärden har värden för helgdagar tagits fram genom interpolering. Under våren var det ett knappt syreöverskott medan det under sensommaren kom upp i lite högre syrehalter. Skillnaden mellan medeltemperaturerna var 1,3 °C för de två mätomgångarna.

Tabell 3. Egenskaper hos det luftade lakvattnet under mätningen av ammoniakavgång under vår respektive sensommar. Kursiverade data är interpolerade värden, som använts vid beräkning av medel-, min- och maxvärden.

A) Vår				B) Sensommar			
Datum	Syrehalt, mg O <sub>2</sub> /L	Temperatur, °C	pH	Datum	Syrehalt, mg O <sub>2</sub> /L	Temperatur, °C	pH
2007-04-23	0,51	6,5	7,57	<i>2007-09-01</i>	<i>4,2</i>	<i>14,1</i>	<i>7,05</i>
2007-04-24	0,49	9,9	7,60	<i>2007-09-02</i>	<i>4,2</i>	<i>14,1</i>	<i>7,05</i>
2007-04-25	0,47	10,0	7,59	2007-09-03	4,2	14,1	7,05
2007-04-26	0,55	12,6	7,66	2007-09-04	5,0	12,5	7,24
2007-04-27	0,66	15,6	7,69	2007-09-05	2,3	11,6	7,16
<i>2007-04-28</i>	<i>0,66</i>	<i>15,6</i>	<i>7,69</i>	2007-09-06	0,7	14,5	7,08
<i>2007-04-29</i>	<i>0,49</i>	<i>11,3</i>	<i>7,63</i>	2007-09-07	0,9	14,5	7,17
2007-04-30	0,49	11,3	7,63	<i>2007-09-08</i>	<i>0,9</i>	<i>14,5</i>	<i>7,17</i>
<i>2007-05-01</i>	<i>0,74</i>	<i>11,6</i>	<i>7,61</i>	<i>2007-09-09</i>	<i>3,6</i>	<i>12,8</i>	<i>7,26</i>
2007-05-02	0,99	11,9	7,60	2007-09-10	3,6	12,8	7,26
2007-05-03	0,44	11,0	7,64	2007-09-11	4,1	13,0	7,25
2007-05-04	0,49	11,5	7,69	<i>2007-09-12</i>	<i>2,3</i>	<i>12,6</i>	<i>7,23</i>
<b>Medeltal</b>	<b>0,60</b>	<b>12,0</b>	<b>7,60</b>		<b>3,0</b>	<b>13,3</b>	<b>7,20</b>
<b>Max</b>	<b>0,99</b>	<b>15,6</b>	<b>7,69</b>		<b>5,0</b>	<b>14,5</b>	<b>7,26</b>
<b>Min</b>	<b>0,44</b>	<b>6,5</b>	<b>7,57</b>		<b>0,7</b>	<b>11,6</b>	<b>7,05</b>

## Massbalansberäkning

För att få ett begrepp om kvävebalansen för luftningsbehållaren från fyllning till avslut gjordes kvävebalanser. I tabell 4 och 5 visas resultaten för mätning A) Vår respektive B) Sensommar. Trots noggranna provtagningar visade kvävebalansen att mindre mängd kväve tillfördes med lakvatten till behållaren än vad som återfanns i vätskan ut. I diskussionen diskuteras tänkbara förklaringar till detta.

Tabell 4. Kvävebalanser för luftningsbehållaren vid ammoniakmätning A) Vår.

IN				UT			
Datum	Volym, L	Total-N, mg/L	Total mängd N, g	Datum	Volym, L	Total-N, mg/L	Total mängd N, g
18 april	5040	360	1814,4	18 april	170	450	76,5
18 april	170	670	113,9	19 april	170	450	76,5
19 april	170	670	113,9	20 april	170	450	76,5
20 april	170	670	113,9	23 april	170	450	76,5
23 april	170	670	113,9	24 april	170	450	76,5
24 april	170	670	113,9	25 april	170	450	76,5
25 april	170	670	113,9	26 april	170	450	76,5
26 april	170	670	113,9	27 april	170	450	76,5
27 april	170	670	113,9	30 april	170	450	76,5
30 april	170	670	113,9	2 maj	170	450	76,5
2 maj	170	670	113,9	3 maj	170	450	76,5
3 maj	170	670	113,9	4 maj (lakvatten)	5040	540	2721,6
				4 maj (slam)	56	2772	155,5
<b>Totalt</b>			<b>3067,3</b>				<b>3718,2</b>

Tabell 5. Kvävebalanser för luftningsbehållaren vid ammoniakmätning B) Sensommar.

IN				UT			
Datum	Volym, L	Total-N, mg/L	Total mängd N, g	Datum	Volym, L	Total-N, mg/L	Total mängd N, g
31 aug.	5040	200	1008	31 aug.	170	330	56,1
03 sept.	170	580	98,6	03 sept.	170	330	56,1
04 sept.	170	580	98,6	04 sept.	170	330	56,1
05 sept.	170	580	98,6	05 sept.	170	330	56,1
06 sept.	170	580	98,6	06 sept.	170	330	56,1
07 sept.	170	580	98,6	07 sept.	170	330	56,1
10 sept.	170	580	98,6	10 sept.	170	330	56,1
11 sept.	170	580	98,6	11 sept.	170	330	56,1
				12 sept.	5040	280	1411,2
<b>Totalt</b>			<b>1698,2</b>				<b>1860,0</b>

### Ammoniakavgång och -nedfall

Provexponeringen visade att provtagarna helst borde exponeras kontinuerligt under minst 10 dygn för att fånga upp tillräckligt stora mängder av ammoniak. I tabell 6 visas resultaten från ammoniakmätningarna.

Tabell 6. Nedfall och avgång av ammoniak från behållare med lakvatten, total mängd ammoniakkväve och mängd N per m<sup>2</sup> och dygn.

Mättilfälle	Behållare	In NH <sub>3</sub> , g N	Ut NH <sub>3</sub> , g N	Emission, g N	Emissioner, g N/m <sup>2</sup> och dygn
Vår	Luftad	235,3	245,8	10,5	0,345
Sensommar	Luftad	129,2	180,0	50,8	1,517
Sensommar	Ej luftad	129,5	119,8	-9,6	-0,289

Vid luftning avgick ammoniak från lakvattnet vid båda tidpunkterna. På sensommaren var emissionerna ca 5 ggr högre än på våren. Den högre emissionen på sensommaren kan både ha orsakats av något högre temperatur i luft och lakvatten, och av att syreöverskottet i lakvattnet var något högre på sensommaren. Däremot var koncentrationerna av kväve i lakvattnet något lägre på sensommaren än på försommaren.

Mängden kväve som avgick som ammoniak relativt ingående mängd kväve i luftningsbehållaren (tabell 4–6) visar att vid vårmätningen avgick 0,3 % och under sensommarmätningen 3,0 %.

I den ej luftade behållaren var depositionen högre än avgången, vilket innebar ett negativt värde för emissionen från behållaren.

## Luftade dammen på Atleverket – fullskala

### Förhållanden i luftade dammen

Under den första mätperioden steg temperaturen i dammen från 10,1 till 15,5 °C medan pH steg från 7,36 till 8 under perioden. Nivåmätningarna i den stora dammen visade nivåer som motsvarar 4 882 m<sup>2</sup> till 5 466 m<sup>2</sup> vätskeyta. Full damm motsvarar en vätskeyta av 6 844 m<sup>2</sup>.

Under den andra mätperioden sjönk temperaturen i dammen från 16,7 till 15,0 °C medan pH var relativt stabilt mellan 7,66 och 7,45 under perioden. Nivån i behållaren motsvarade en yta av 5718 m<sup>2</sup>.

I bild 4 visas innehåll av NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, N-tot och temperatur hos lakvatten i den luftade dammen på Atleverket under 2005-2006. Koncentration av ammoniumkväve i inkommande lakvatten redovisas också som referens.

### Totala kväveförluster

Med hjälp av beräknad startmängd, inkommande mängd, tömd mängd och slutmängd i den luftade dammen samt analysdata kan en kvävebalans upprättas och totala kväveförlusten beräknas. Denna beräkning utfördes för dels perioden då andra mätningen pågick i pilotskalan (tabell 7), dels för ett helt år med 2006 års data som grund (tabell 8). Under perioden för första mätning var förhållandena inte representativa (ingen fyllning) och därmed gjordes ingen beräkning.

Tabell 7. Kvävebalans för lakvattnet i den luftade dammen under andra mätning 2007-08-31 – 2007-09-12, dvs. under 12 dagar. Under den aktuella tiden skedde ingen tömning av behållaren.

	Startmängd, kg	Inpumpad mängd, kg	Slutmängd, kg	Balans
Totalkväve	2 295	1 510	3 115	-690
Ammoniumkväve	602	967	22	-1 547
Nitrit+nitratkväve	1 160	0	1 973	+813
Organiskt kväve (rest)	533	543	1 120	+ 44

Under andra mätperioden minskade mängden ammoniumkväve med 1 547 kg NH<sub>4</sub>-N. Under samma period ökade mängden nitratkväve i lakvattnet med 813 kg till följd av nitrifikation av ammoniumkväve och det organiska kvävet ökade med 44 kg N. Potentialen för avgång under dessa 12 dagar bedöms därför till maximalt 690 kg vilket motsvarar 57,5 kg N per dygn. Det är dock troligt att en del av nitratkvävet har denitrifierats under perioden eller fastlagts i sediment.

Motsvarande kvävebalans utfördes för lakvattendammen för hela år 2006, tabell 8.

Tabell 8. Kvävebalans för lakvattnet i den luftade dammen under 2006.

	Startmängd, ton	Inpumpad mängd, ton	Utpumpad mängd, ton	Slutmängd, kg	Balans
Totalkväve	2,0*	47,9	23,4	2,7*	-23,8
Ammoniumkväve	0,6	33,8	6,7	1,0	-26,7
Nitrit+nitratkväve	1,1	0	9,7	1,2	+ 9,8
Organiskt kväve (rest)	0,3	14,1	7,0	0,5	-6,9

\*Eventuell mängd i sediment ej uppmätt

Den totala kväveförlusten under år 2006 var ca 23,8 ton. Denna mängd kan ha förlorats som ammoniak, denitrifierats eller fastlagts i sediment.

### Beräknad ammoniakavgång från den luftade dammen

Beräkningarna baserades på temperaturförhållandena i den stora luftade dammen. Under ca 5,5 månader per år är temperaturen hos lakvattnet över 10 °C, under ca 2,5 månader mellan 3 och 10 °C och under resterande del, ca 4 månader, endast ca 1 till 3 °C. Medeltemperaturer för valda perioder redovisas i tabell 9. Antalet mättillfällen är lika med antalet veckor, dvs. mätningar gjordes en gång per vecka. Medelnivån över året i behållaren motsvarar ytan 6 044 m<sup>2</sup>.

Tabell 9 visar att medeltemperaturen för den varmare perioden (> 10 °C) var 17,0 °C år 2006, dvs. något högre än uppmätt i pilotskalan under sensommaren (13,3 °C). Omvänt är temperaturen under de 2,5 månader med lakvattentemperaturer under 10 °C i medeltal lägre än vad lakvattnet höll i pilotskalan vid vårmätningen. I stort bör det betyda att om vi för de 8 månader med lakvattentemperaturer högre än 3 °C använder emissionsvärdet uppmätt under sensommaren så räknar vi lågt, se tabell 10. Under de fyra kalla månaderna antas då ammoniakavgången i stort vara negligerbar.



Tabell 9. Medeltemperaturer i luftade lakvattnet år 2005 och 2006 för hela året, för perioder med temperaturer mellan 3 och 10 °C samt perioder med högre temperatur än 10 °C.

År	Medeltemperatur, °C		
	hela året	period 3-10°C	period > 10°C
2005	12,2 (n=52)	7,3 (n=8)	17,4 (n=32)
2006	10,6 (n=53)	6,2 (n=10)	17,0 (n=28)

n= antal mättillfällen eller lika med antal veckor

Tabell 10. Beräknad ammoniakavgång från luftade dammen under ett år respektive under mätperioden under sensommaren.

Period	Medel- yta, m <sup>2</sup>	Emissioner under tiden, mån	Ammoniak- emission, g N /dygn och m <sup>2</sup>	Total NH <sub>3</sub> - emission, kg N	Andel av den totala N- förlusten, %
1 år	6 044	8,0	1,52	2 205	9,2
Sensommaren	5 718	12/30	1,52	104	15,0

Ammoniakavgången per år uppgick till minst ca 9 % av den årliga kväveförlusten för lakvattendammen, som tidigare beräknats till 23,8 ton N/år. Ammoniakavgång-  
en från den luftade dammen beräknades under den 12 dagar långa perioden till  
104 kg N. Det motsvarar 15 % av den totala kväveförlusten, som tidigare beräknats  
till 690 kg N för de 12 dagarna.

### Förslag till fortsatt drift

Eftersom ammoniakavgången är större vid högre temperaturer bör driften anpassas efter detta. Under framförallt juli och augusti när temperaturtoppen normalt infaller bör fokus vara att minimera luftningen och minimera antalet omrörare i drift för att på så sätt minska avdrivningen. Normalt är att vattennivån i den luftade dammen är låg denna årstid på grund att det dels bildas mindre lakvatten, dels att allt vatten då hinner behandlas och pumpas vidare ut till våtmarken.

Utifrån dessa förutsättningar bör det vara möjligt att minska luftningen och omrörning men att ändå behålla tillräcklig reningskapacitet. Med driftprovtagning av ammoniumkväve varje vecka hålls noggrann kontroll så att inte kvävereningen avstannar och för dåligt renat vatten pumpas vidare till våtmarken. Då volymen lakvatten i dammen är mindre sommartid innebär en neddragning av luftningen i realiteten att mängden tillfört syre per kubikmeter hålls på en jämn nivå. Neddragning av luftmängden är ett arbets sätt som redan delvis tagits i bruk med främsta syfte att spara el men ändå behålla maximalt optimal reningseffekt.

## Diskussion

### Pilotskala

#### Nedskalning

Syftet med pilotskaleanläggningen var att efterlikna fullskalan så långt det var möjligt när det gäller lakvatten, luftmängder, flöden in och ut ur behållaren och temperaturförhållanden. Stor möda lades ned på att utforma luftningen med samma luftningsaggregat som i stora behållaren och med ett knappt syreöverskott i vätskan. Luftningen var också intermittent som i den stora behållaren där vätskan under kort tid passerar luftarna och därefter strömmar vidare till andra delar av bassängen. I stort var pilotskaleanläggningen en miniatyr av den stora dammen, men med förutsättningar att ha mer kontrollerade förhållanden. Inför den första mätningen tog det dock lång tid innan syrehalten i lakvattnet stabiliserades. Under den tiden gick vårvintern mot vår och lufttemperaturen steg och därmed också temperaturen på lakvattnet. Utifrån temperaturerna i den stora dammen eftersträvades en temperatur mellan 5 och 10 °C för det ”kalla” fallet respektive > 10 °C för det ”varmare” fallet. Nu blev temperaturen hos lakvattnet i medeltal 12,0 °C vid vårmätningen, något högt. Vid sensommarmätningen var lakvattnets temperatur i medeltal 13,3 °C och skiljde sig därmed inte så mycket från våren. Vid en jämförelse med stora dammen så borde temperaturen ha legat högre då medeltemperaturen hos lakvattnet i dammen var 17 °C under den ”varmare” perioden.

#### Ammoniakavgång

Mätningarna visade att det avgår ammoniak från lakvattnet under luftning. I relation till ingående kvävemängd var andelen relativt låg, 0,3 % av ingående kvävemängd vid vårmätningen och 3,0 % vid sensommarmätningen. Vid en jämförelse med ammoniakavgången från urin eller flytgödsel i lager är andelen som avgår som ammoniak låg för lakvattnet. För flytgödsel i lager utan täckning anges som riktvärden en förlust av 6-9 % av totalkvävet för flytgödsel och 37-40 % för djururin (Karlsson & Rodhe, 2002). En högre koncentration av kväve i djurgödseln jämfört med lakvattnet samt ett högt pH i urinen kan förklara skillnaderna. Täckning av flytgödsellager reducerar förlusterna med ca 90 %. Mätningen på behållaren med ej luftat lakvatten visade att depositionen var högre än emissionerna och därmed blev det totalt en tillförsel av ammoniak till den oluftade behållaren. Depositionen kan komma från den luftade dammen eller den närliggande luftade provbehållaren.

Den högre ammoniakavgången vid den senare mätningen jämfört med vårmätningen kan kopplas både till en högre temperatur men också en mer riklig luftning vid sensommarmätningen. På våren var minskningen i totalkväve mellan in- och utgående lakvatten mindre än vid sensommarmätningen, vilket också kan hänga ihop med temperatur och luftning.

## Kvävebalanser

Trots noggrann fyllning och provtagning var det svårt att få kvävebalansen i pilotskalan att stämma. Det gick ut mer kväve än vad det kom in, tabell 4 och 5. Orsaker till detta kan vara analysfel ( $\pm 10\%$  fel för totalkväve enligt Bilaga 3), provtagningsfel och kvävenedfall. Provtagningsfelet bör dock vara litet för proverna togs ut när vätskan var under omrörning. Däremot visar ammoniakmätningarna att bakgrundshalten av ammoniak i luften var avsevärd. Antagligen hade den ammoniaken sitt ursprung från den stora luftade dammen eller något annat kväverikt material. Under sensommarmätningen kom det t.ex. in mer ammoniak i den oluftade behållaren än vad det avgick från den enligt fluxprovtagarna.

## Fullskala

Utifrån ammoniakmätningen beräknades förlusten av ammoniak från den stora dammen till 8,7 kg  $\text{NH}_3\text{-N}$ /dygn under sensommarmätningen. Under 12 dagar blir avgången ca 104 kg kväve. Detta kan jämföras med att under samma period minskade totalkvävehalten i den luftade dammen med ca 690 kg N enligt massbalansberäkningen. Det betyder att ammoniakavgången var ca 15 % av potentialen för ammoniakavgång. Motsvarande förlust av  $\text{NH}_3\text{-N}$  för år 2006 beräknades till 2,2 ton N eller 9,2 % av totala kväveminskningen i dammen för hela året. Ammoniakavgången under ett år baseras på antagandet att ammoniakavgången sker under 8 månader (lakvattentemperaturen  $> 3\text{ °C}$ ) och att ammoniakavgången vid sensommarmätningen används som ett medelvärde för denna period. Önskvärt är att det hade funnits fler ammoniakmätningar, för att se variationen vid olika temperaturförhållanden. Tyvärr skiljde det inte så mycket i temperaturen hos lakvattnet för de två mättillfällena.

I introduktionen redovisas en uppgift om att det i Sverige finns ca 86 st anläggningar där rening av lakvatten sker i luftad damm. För att kunna skatta hur stor avgången av ammoniak är totalt från dessa dammar använder vi oss för enkelhetens skull av den mängd som beräknats avgå från Atleverkets luftade damm. Förlusten blir då:

86 anläggningar \* 2,2 ton N/ år ger 189 ton N/år. Detta kan jämföras med att under 2003 beräknades utsläpp av ammoniak till luft i Sverige till sammanlagt ca 55 600 ton (SCB, 2004). Förlusten från dammar för lakvattenrening i Sverige utgör då ca 0,3 % av totala nationella utsläppen. I sammanhanget bör nämnas att Atleverket i relation till de 86 anläggningarna är en av de största sett till deponerad volym och mängd lakvatten samt har relativt höga kvävehalter i det obehandlade lakvattnet.

## Slutsatser

- Mätningarna i pilotskala visade att det sker en förlust av ammoniak vid luftning av lakvattnet i Atleverket.
- Vid vårmätningen i pilotskala, då lakvattentemperaturen i medel var 12,0 °C, uppgick förlusten till 0,34 g kväve/m<sup>2</sup> och dygn. Kväveförlusten som ammoniak utgjorde 0,3 % av ingående mängd kväve i den luftade behållaren.
- Vid sensommarmätningen då lakvattentemperaturen i medeltal var 13,3 °C och luftningen resulterade i något högre syreöverskott, var förlusterna 1,52 g kväve/m<sup>2</sup> och dygn. Kväveförlusten som ammoniak utgjorde 3 % av ingående mängd kväve i den luftade behållaren i pilotskalan.
- Den totala kväveförlusten från den luftade lakvattendammen vid Atleverket var ca 23,8 ton N år 2006 enligt balansberäkningar. Minst ca 2,2 ton kväve beräknades avgå som ammoniak. Det motsvarar 9,2 % av den totala kväveförlusten. Denna förlust utgjorde ca 4 % av den ingående mängden kväve i den luftade dammen under 2006.
- Under framförallt juli och augusti när temperaturtoppen normalt infaller bör fokus vara att minimera luftningen och minimera antalet omrörare i drift för att på så sätt minska avdrivningen. Lakvattnets uppehållstid bör också minimeras.
- Ammoniakavgången från lakvatten i luftade dammar i Sverige kan skattas till ca 0,3 % av totalt beräknade ammoniakutsläpp i landet.

## Referenser

- Cerne O., Allard A.-S., Ek M., Junestedt C. & Svenson A., 2007. Utvärdering av behandlingsmetoder för lakvatten från deponier. Kemisk karakterisering av lakvatten före och efter olika behandlingssteg på ett antal svenska deponier. IVL-rapport B1748. IVL Svenska Miljöinstitutet AB.
- Karlsson S., 1996. Åtgärder för att minska ammoniakemissionerna vid lagring av stallgödsel. JTI-rapport Lantbruk & Industri nr 228. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik., Uppsala.
- Karlsson S. & Rodhe L., 2002. Översyn av Statistiska Centralbyråns beräkning av ammoniakavgången i jordbruket – emissionsfaktorer för ammoniak vid lagring och spridning av stallgödsel. Ett projekt utfört på uppdrag av Jordbruksverket. JTI Uppdragsrapport, Uppsala.
- RVF Utveckling 2003:06. Avdrivning av ammoniak vid luftning av lakvatten i luftade dammar.
- Rodhe L., 1996. Urin från djur till gröda. Teknik för lantbruket Nr 53, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- SCB, 2004. Utsläpp av ammoniak tilluft i Sverige 2003. Statistiska meddelanden MI 37 SM 0401. Statistiska centralbyrån, Stockholm.
- Schjørring J.K., Sommer S.G., Ferm M., 1992. A simple passive sampler for measuring ammonia emission in the field. *Water, Air, and Soil Pollution*, 62:13-24.
- Steineck S., Gustafson G., Andersson A., Tersmeden M. & Bergström J., 1999. Stallgödselels innehåll av växtnäring och spårelement. Rapport 4974, Naturvårdsverket, Stockholm.
- Svensson L., 1994. A new dynamic chamber technique for measuring ammonia emissions from land-spread manure and fertilizers. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science* 44(1): 35-46.
- Örebro kommun, 2006. Miljörapport för Atleverket 2005. Tekniska förvaltningen.
- Örebro kommun, 2007. Miljörapport för Atleverket 2006. Tekniska förvaltningen.

### Muntlig kommunikation

Rihm, T. RVF, 2006.



## Dimensioneringsunderlag för pilotskaleanläggningen

Genomströmningsvolym: Mängden lakvatten som pumpas upp i den luftade dammen per dygn varierar mycket men utvärdering av data för mars-april 2006 beräknades 350 m<sup>3</sup>/dygn vara ett lämpligt riktvärde vid en volym av 15000 m<sup>3</sup> i behållaren. Detta innebär en uppehållstid av 43 dagar i dammen för vinterfallet. Motsvarande genomströmning i pilotskalebehållaren erhålls vid daglig fyllning av 117 L. I praktiken fylldes inte behållaren på helgen och därför sattes den dagliga fyllningen till 170 L.

Luftvolym: Luftningen i försöksanläggningen ska efterlikna förhållandena i stora bassängen (vilket inte behöver betyda optimal luftning). Pilotskalebehållaren om 5,04 m<sup>3</sup> utgör 0,037 % av dimensionerade volymen om 15 000 m<sup>3</sup> i den stora luftade dammen. Syrebehovet i pilotskalebehållaren beräknades till 22,39 g O<sub>2</sub>/h av ITT Flygt, vilket utgör 0,037 % av SOR (Standard Oxygen Requirement) 60, 5 kg O<sub>2</sub>/h. Det senare värdet är beräknat av ITT Flygt ur givna belastningsdata för hela lakvattenvolymen i dammen.

För att räkna om syrebehovet till ett luftflöde som en kompressor levererar används formeln:

$$Q \text{ (Nm}^3 \text{ luft/h)} = \text{kg O}_2\text{/h} / 0,293 * 5 \% \text{ syreöverföring per m vätskedjup.}$$

Alltså (med antagande om att vätskepelaren i experimentbehållaren är 2 m):

$$0,02239/0,293*0,05*2= 0,76 \text{ Nm}^3\text{/h.}$$

Luftaren måste då köras intermittent eftersom de är gjorda för luftmängder från 0,9 till 6 Nm<sup>3</sup>/h. Viktigast vid körning i pilotskalan är dock att luftningen genererar en syrehalt i försöksskalan som är lika stor som i lakvattnet i den luftade dammen. Det innebär att under en inledande testperiod utprovas lämplig driftstid på kompressorn och luftmängd så att önskvärda syrehalter nås. I startläget inställdes flödet 1,5 Nm<sup>3</sup>/h med 50 % driftstid (2 min drift, 2 min paus). Vid stabilisering var inställningen 4 min drift och 4 min paus, vilket motsvarade medelluftmängden 1 Nm<sup>3</sup>/h. Under sensommarmätningen var driften 3 min och paustiden 2 minuter, vilket motsvarade medelluftmängden 0,9 Nm<sup>3</sup>/h.





## Instruktioner luftning av lakvatten

### A. Uppstart och luftning för att uppnå lämplig syrehalt i lakvattnet

Riktvärde för syrehalt i lakvattnet är det som uppmätts i lakvattendammen.

Det är: \_\_\_\_\_ mgO<sub>2</sub>/L (0,49-0,99 under första mätningen).

#### Fyllning och provtagning vid start:

1. Fyll luftningsbehållaren ända upp till breddavloppet med lakvatten från den luftade dammen.
2. Under omrörning, ta ut två prov ur varje behållare, som läggs i frys. Märk proven 1) **START BEHÅLLARE LUFTNING + datum och signatur**
3. Förslut bredavloppet i luftningsbehållaren. Se till att uppsamlingsbehållaren för utflöde är tom.
4. Efter fyllning, mät syrehalt, temperatur och pH i lakvattnet. Skriv i protokoll.
5. Ställ in luftningen i grundläge (2 min luftning, 2 min avstängd) med luftmängden 1,5 Nm<sup>3</sup>/h (84 %). Starta luftningen.

#### Dagligen (från dagen efter fyllning) vid ungefär samma tid:

6. Mät syrehalt, temperatur och pH i lakvattnet. Fyll i protokollet.
7. Om syrehalten avviker från riktvärde, ändra i första hand luftningstiden så att syrehalten närmar sig riktvärdet. Diskutera gärna med JTI eller Magnus/Karin.
8. Om syrehalten avviker från riktvärde, i andra hand ändras luftmängden.
9. Fyll behållaren med 170 L (Antagit 30 arbetsdagar under perioden 43 dagar). Ta delprover i flödet och fyll det i en 250 ml flaska, som fryses. Märk provet **Lakvatten IN, provnummer, datum och signatur**.
10. Rör om uppsamlingsbehållaren. Tag ut prov med provtagningsflaskan och märk provet **Lakvatten UT, provnummer, datum och signatur**. Töm därefter uppsamlingsbehållaren.
11. När syrehalten i lakvattnet ligger ungefär på samma nivå som riktvärdet under minst 2 dagar i följd med fyllning, bedöms luftningen vara bra inställd.

#### Avslutning

12. Ta ut två prov av lakvattnet i luftningsbehållaren. Märk proven **SLUT BEHÅLLARE + datum och signatur**.
13. Töm behållaren försiktigt så att ev. sediment blir kvar. Väg sedimentresten och ta ut prov. Märk provet **SEDIMENT SLUT LUFTNING + datum och signatur**.

## **B. Uppstart av behållare utan luftning (REFERENS) vid sommarmätning NH<sub>3</sub>**

### **Fyllning och provtagning vid start:**

1. Fyll behållaren med 0,9 m lakvatten (0,1 m marginal till kant). Fyllningen görs växelvis med den luftade behållaren så att så lika lakvatten kommer i båda behållarna.
2. Rör om och ta ut två startprover. Märk proven **START REFERENS + datum och signatur.**

### **Avslutning**

14. Rör om och ta ut två prov av lakvattnet i referensbehållaren. Märk proven **SLUT REFERENS + datum och signatur.**
15. Töm behållaren försiktigt så att ev. sediment blir kvar. Väg sedimentresten och ta ut prov. Märk provet **SEDIMENT SLUT REFERENS + datum och signatur.**

## Analysvärden för lakvatten

*Analysvärden för lakvatten i pilotskaleanläggning vid vårmätning.*

Ämne	Enhet	Mätfel, %	Startprov	Medel in	Medel ut	Slutprov
Suspenderande ämnen	mg/l	15	140	170	200	110
PH		3	7,9	7,6	7,9	7,6
Alkalinitet	mg HCO <sub>3</sub> /l	10	750	3600	900	890
Konduktivitet	mS/m	10	490	760	520	560
Biokemisk syreförbrukning, BOD7	mg/l	30	21	35	28	4
TOC	mg/l	10	210	260	210	400
Totalkväve	mg/l	10	360	670	450	540
Ammonium-kväve	mg/l	15	26	540	130	41
Nitratkväve	mg/l	15	37	6,2	190	48
Nitritkväve	mg/l	15	12	0,78	73	27
Fosfor	mg/l	10	3,4	2,0	2,4	0,37
Järn, Fe	mg/l	10	0,77	0,60	0,71	0,84

*Analysvärden för lakvatten i pilotskaleanläggning vid sensommarmätning.*

Ämne	Enhet	Mätfel, %	Startprov	Medel in	Medel ut	Slutprov
Suspenderande ämnen	mg/l	15	77	380	320	580
PH		3	8,5	7,8	8,0	7,7
Alkalinitet	mg HCO <sub>3</sub> /l	10	370	2500	310	290
Konduktivitet	mS/m	10	329	610	387	359
Biokemisk syreförbrukning, BOD7	mg/l	30	8	710	69	60
TOC	mg/l	10	140	680	180	190
Totalkväve	mg/l	10	200	580	330	280
Ammonium-kväve	mg/l	15	5,9	370	19	6,0
Nitratkväve	mg/l	15	48	5,0	220	91
Nitritkväve	mg/l	15	0,62	0,88	10	11
Fosfor	mg/l	10	3,1	11	3,4	4,6
Järn, Fe	mg/l	10	3,1	23	15	15





## **JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik...**

... är ett industriforskningsinstitut som forskar, utvecklar och informerar inom områdena jordbruks- och miljöteknik samt arbetsmaskiner. Vårt arbete ger dig bättre beslutsunderlag, stärkt konkurrenskraft och klokare hushållning med naturresurserna.

Vi publicerar regelbundet notiser på vår webbplats om aktuell forskning och utveckling vid JTI. Du får notiserna hemskickade gratis om du anmäler dig på [www.jti.se](http://www.jti.se)

På webbplatsen finns även publikationer som kan läsas och laddas hem gratis, t.ex.:

*JTI-informerar*, som kortfattat beskriver ny teknik, nya rön och nya metoder inom jordbruk och miljö (4-5 teman/år).

*JTI-rapporter*, som är vetenskapliga sammanställningar över olika projekt.

Samtliga publikationer kan beställas i tryckt form. JTI-rapporterna och JTI-informerar kan beställas som lösnummer. Du kan också prenumerera på JTI-informerar.

*För trycksaksbeställningar, prenumerationsärenden m.m.,  
kontakta vår publikationstjänst (SLU Service Publikationer):*

tfn 018 - 67 11 00, fax 018 - 67 35 00

e-post: [bestallning@jti.se](mailto:bestallning@jti.se)



**JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik**

JTI – Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering

Box 7033, 750 07 UPPSALA      Telefon: 018 - 30 33 00

Besöksadress: Ultunaallén 4      Telefax: 018 - 30 09 56

Webbplats: [www.jti.se](http://www.jti.se)