

De fyra stora - en jämförelse av reningsverk i svenska våtmarker för avloppsvattenrening

Jonas Andersson

Sofia Kallner



VA-Forsk

VA-Forsk är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet. FoU-avgiften är för närvarande 1,05 kronor per kommuninnevånare och år. Avgiften är frivillig. Nästan alla kommuner är med i programmet, vilket innebär att budgeten årligen omfattar drygt åtta miljoner kronor. VA-Forsk initierades gemensamt av Kommunförbundet och Svenskt Vatten. Verksamheten påbörjades år 1990. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvattenrening
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

VA-Forsk styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

<i>Ola Burström</i> , ordförande	Skellefteå
<i>Roger Bergström</i>	Svenskt Vatten AB
<i>Bengt Göran Hellström</i>	Stockholm Vatten AB
<i>Staffan Holmberg</i>	Haninge
<i>Pär Jönsson</i>	Östersund
<i>Peeter Maripuu</i>	Vaxholm
<i>Stefan Marklund</i>	Luleå
<i>Peter Stahre</i>	VA-verket Malmö
<i>Jan Söderström</i>	Svenska kommunförbundet
<i>Asle Aasen</i> , adjungerad	NORVAR, Norge
<i>Thomas Hellström</i> , sekreterare	Svenskt Vatten AB

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas
Såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

VA-Forsk
Svenskt Vatten AB
Box 47607
117 94 Stockholm
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se

Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	De fyra stora – en jämförelse av reningsresultat i svenska våtmarker för avloppsvattenrening
Title of the report:	Four large wetlands - A comparison of treatment capacity in Swedish wastewater treatment wetlands
Rapportens beteckning Nr i VA-Forsk-serien:	2002-6
ISSN-nummer:	1102-5638
ISBN-nummer:	91-89182-63-4
Författare:	Jonas Andersson, WRS Uppsala AB, Sofia Kallner Bastviken Linköpings Universitet
Utgivare:	Svenskt Vatten AB
VA-Forsk projekt nr:	21-123
Projektets namn:	Våtmarker för kvävereduktion i kommunalt avloppsvatten - resultat och erfarenheter från svenska anläggningar i drift.
Projektets finansiering:	VA-Forsk, MISTRA
Rapporten beställs från:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Rapportens omfattning Sidantal:	34
Format:	A4
Sökord:	Våtmark, avlopp, kväve, fosfor, BOD, utformning
Keywords:	Wetland, wastewater, nitrogen, phosphorus, BOD, design
Sammandrag:	Rapporten behandlar de fyra stora våtmarker som byggdes i Sverige under 1990-talet för rening av kommunalt avloppsvatten; Oxelösund, Magle (Hässleholm), Alhagen (Nynäshamn) och Ekeby (Eskilstuna). Likheter och skillnader i utformning, belastning och reningsresultat redovisas. Utifrån dessa data och specialstudier (examensarbeten, forskning och funktionskontroller) som utförts vid de olika våtmarkerna dras slutsatser om vilka processer som är av betydelse för reningsresultatet, vegetationens roll och hur utformningen av anläggningen påverkar funktionen.
Abstract:	This report is an overview of four large-scale wetlands for wastewater treatment, established in Sweden during the 1990ies; Oxelösund, Magle (Hässleholm), Alhagen (Nynäshamn) and Ekeby (Eskilstuna). The similarities and differences in design and nutrient load between the wetlands are described. Further, the removal capacities are compared and processes that are limiting the treatment capacity of the systems are discusses as well as the importance of vegetation and wetland design for wastewater treatment efficiency. This report is based on monitoring programs and research studies.
Målgrupper:	Kommunala tjänstemän, konsulter, universitet och högskolor
Utgivningsår:	2002
Omslagsbild:	Framforsande vatten i Våtmark Oxelösund. Foto Jonas Andersson

Sammanfattning

Rapporten behandlar de fyra stora våtmarker som byggdes i Sverige under 1990-talet för rening av kommunalt avloppsvatten; Oxelösund, Magle (Hässleholm), Alhagen (Nynäshamn) och Ekeby (Eskilstuna). Vi har försökt att på ett överskådligt sätt redovisa likheter och skillnader i utformning, belastning och reningsresultat. Utifrån detta dataunderlag och utifrån några specialstudier (examensarbeten, forskning och funktionskontroller) som utförts vid de olika våtmarkerna, har vi försökt dra vissa slutsatser om vilka processer som är av betydelse för reningsresultatet, vegetationens roll och hur utformningen av anläggningen påverkar funktionen.

De fyra studerade våtmarkerna klarar alla en tillfredställande reduktion av kväve, fosfor och BOD. Även om det finns stora variationer för kväveavskiljning både mellan och inom åren, så finns det inga tecken på att kvävereningen skulle mattas. Kapaciteten att avskilja kväve skiljer sig åt mellan våtmarkerna. Skillnaderna kan delvis förklaras med olika innehåll av näringsämnen och organiskt material i inkommande avloppsvatten, men beror även av utformning och vegetation. Nitrifikationskapaciteten verkar gynnas av växelvis fyllning och tömning av vattnet i dammarna samt av ytor i syrerika miljöer som översilningsytor och undervattensvegetation, medan god tillgång på organiskt material (t.ex. döda växtdelar) och syrefattiga sediment antagligen är det mest betydelsefulla för att uppnå en effektiv denitrifikation.

Fosfor- och BOD-halterna minskar snabbt i våtmarkerna. Utgående fosfor- och BOD-halter är låga och påverkas inte av inkommande halter utan verkar spegla en bakgrunds nivå. BOD-reduktionen kommer troligtvis att fungera även på lång sikt, eftersom stora mängder BOD åtgår för denitrifikationen. Fosforreduktionen kan förväntas avta på mycket lång sikt, med rensning av inloppen förlängs dock livslängden (dvs. tiden till dess att mer omfattande regenereringsåtgärder behöver göras).

Våtmarkerna är effektiva för reduktion av smittämnen i vattenfasen. Uppföljningen visar att halterna av indikatororganismer kraftigt reduceras under passagen genom dammarna. Frågan kvarstår dock kring risk för smittspridning i själva anläggningen.

Summary

This report is an overview of four large-scale wetlands for wastewater treatment, established in Sweden during the 1990ies; Oxelösund, Magle (Hässleholm), Alhagen (Nynäshamn) and Ekeby (Eskilstuna). First, we describe the similarities and differences in design and nutrient load between the wetlands. Further, we compare the removal capacity and discuss processes that are limiting the treatment capacity of the systems. In addition, the importance of vegetation and wetland design for wastewater treatment efficiency is discussed. This report is based on monitoring programs and research studies.

All four wetlands remove nitrogen, phosphorus and BOD satisfactorily. Although, there are differences in nitrogen removal between and within years, there is no trend suggesting a decreasing capacity with time. There are differences in nitrogen removal capacity between the wetlands. These differences could be due to differences in concentrations of nutrients and organic material in incoming wastewater, but also design and vegetation.

The nitrification capacity seems to be favored by intermittently filling and draining of the water in the basins and by a high abundance of attachment surfaces in the aerobic environment, such as submersed vegetation. Treatment in overland flow areas also seems to favor nitrifikation. Denitrification capacity would probably increase in presence of organic material, i.e. vegetation, and anaerobic sediments.

Phosphorus and BOD concentrations were decreasing rapidly in the wetlands. Outgoing phosphorus and BOD concentrations were low and not affected by incoming concentrations. The removal of BOD will probably not decrease in a long-term perspective since large amounts of organic material are consumed in the denitrification process. Phosphorus removal capacity is on the other hand likely to decrease in a long-term perspective. Removal of the upper sediments in the inlet basins might however prolong the period of high phosphorus removal.

The wetlands were also efficient in removing pathogens. The abundance of indicator organisms was significantly decreasing throughout the basins. Still, hygienic issues have to be taken seriously, especially when a treatment wetland is intended for, and used for recreation.

Förord

Hösten 2000 anordnades en konferens på temat ”våtmarker för efterbehandling av avloppsvatten” i Fiskeboda i Södermanland. På konferensen presenterades bland annat reningsresultat och driftserfarenheter från de fyra stora våtmarker för avloppsvattenrening som byggdes i Sverige under 1990-talet. Som utgångspunkt för en generell diskussion kring kunskapsläget gjordes en enkel jämförande tabell över anläggningarna. Sammanställningen och diskussionen som följde talade för att en fortsatt jämförelse av våtmarkernas reningsresultat kunde ge en hel del intressanta slutsatser.

Utifrån denna enkla sammanställning väcktes tanken på att mer ingående studera skillnader och likheter mellan anläggningarna vad gäller utformning, beskickning och reningsresultat och presentera detta i en populärvetenskaplig form. Det finns, som vi upplevt det, ett stort intresse i VA- och vattenvårdssfären för en samlad överblick över hur svenska avloppsvatten-våtmarker klarar de reningsmål som ställts upp. Intresset är också stort kring hur anläggningar bör utformas för optimera reningen och för att vidmakthålla en långsiktigt god funktion.

Denna sammanställning riktar sig till tjänstemän på kommuner och länsstyrelser, konsulter, lärare vid universitet och högskolor och andra med intresse för driftserfarenheter från våra svenska ”fyra stora” våtmarker för avloppsvattenrening. De resultat som redovisas bygger delvis på resultat som granskats och publicerats i vetenskapliga sammanhang och delvis på uppföljningar och iakttagelser som vi finner intressanta att lyfta fram.

De slutsatser som presenteras i rapporten är därför helt författarnas egna och vi gör inte anspråk på att presentera en fullständig bild av kunskapsläget kring våtmarker för avloppsvattenrening i landet. Vår förhoppning är dock att denna sammanställning skall ge en bra bild över reningsresultaten i de fyra stora våtmarkerna och inspirera till ett ökat intresse från myndigheter och forskare att fortsätta undersöka våtmarkers betydelse och funktion.

Sammanställning har gjorts möjlig genom ekonomiska bidrag från VA-Forsk och MISTRA. Delar av arbetet har gjorts inom vattenstrategiska forskningsprogrammet, VASTRA, som finansieras av MISTRA. Datamaterial har tillhandahållits från Roland Alsbro, Eskilstuna Energi och Miljö, Ingrid Rehnlund, VA-förvaltningen i Nynäshamns kommun, Per-Åke Nilsson, VA-lab i Hässleholm samt Hans Wallin, WRS svenska AB i Oxelösund. Vid datasammanställningen har förutom författarna även Daniel Stråe medverkat. Peter Ridderstolpe och Karin Tonderski har givit värdefulla synpunkter på rapporten.

Uppsala och Linköping
Den 15 mars 2002

Jonas Andersson
Sofia Kallner Bastviken

Om författarna

Sofia Kallner Bastviken är doktorand inom VASTRA vid avd. för biologi vid Linköpings Universitet. Hennes forskning är inriktad på vattenrening i våtmarker, framför allt på att beskriva vilka faktorer som reglerar kväverening i våtmarker. Hon har utfört flera studier vid Magle våtmark och Våtmark Oxelösund.

Jonas Andersson är konsult vid WRS Uppsala AB/SwedEnviro Consulting Group och arbetar med projektledning, projektering och uppföljning av anläggningar för avlopps- och dagvattenbehandling. Han har de senaste åren bl.a. sammanställt reningsresultat och driftserfarenheter från Våtmark Oxelösund, som publicerats i vetenskapliga sammanhang i Sverige och internationellt. Han är också engagerad i den pågående funktionskontrollen av Våtmark Alhagen i Nynäshamn.

Innehållsförteckning

INLEDNING OCH SYFTE	1
VATTENRENING I VÅTMARKER	1
ALLMÄNT OM ANLÄGGNINGARNA	2
MAGLE VÅTMARK	4
BESKRIVNING	4
RENINGSRESULTAT	5
SPECIALSTUDIER	6
MER ATT LÄSA	7
EKEBY VÅTMARK	8
BESKRIVNING	8
RENINGSRESULTAT	9
MER ATT LÄSA	10
VÅTMARK OXELÖSUND	11
BESKRIVNING	11
RENINGSRESULTAT	12
SPECIALSTUDIER	14
MER ATT LÄSA	16
VÅTMARK ALHAGEN	17
BESKRIVNING	17
RENINGSRESULTAT	18
SPECIALSTUDIER	20
MER ATT LÄSA	21
JÄMFÖRANDE DISKUSSION	22
KVÄVEAVSKILJNING	22
AVSKILJNING AV FOSFOR OCH ORGANISKT MATERIAL	24
SMITTSKYDD	26
SLUTSATSER	26
REFERENSER	27

Inledning och syfte

Intresset för våtmarker som metod för att avskilja kväve ur kommunalt avloppsvatten väcktes i början av 1990-talet i Sverige. Den anläggning som byggdes i Oxelösund 1993 kom att locka många besökare, såväl från kommunala VA-förvaltningar som från universitet och högskolor. Under åren 1993-96 hölls guidade visningar för fler än 2000 personer. Våtmarken i Oxelösund presenterades som ett kostnadseffektivt alternativ till mer ”konventionell” kväverening och förväntades också bidra med mervärden i form av ökad biologisk mångfald och nya rekreatiomsområden för kommuninvånarna. Samtidigt höjdes varnande röster som påtalade osäkerheter kring våtmarkernas långsiktiga reningsförmåga och ökad risk för smittspridning vid öppen exponering av behandlat avloppsvatten i dammar.

Inspirerade av Oxelösund och liknande anläggningar i främst i USA byggdes under senare delen av 1990-talet ytterligare tre stora våtmarksanläggningar i landet; Magle våtmark i Hässleholm, Våtmark Alhagen i Nynäshamn och Ekeby våtmark i Eskilstuna.

Under åren har avsevärda ansträngningar gjorts för att följa upp dessa anläggningars funktion. Materialet finns sammanställt för varje enskild anläggning i form av miljörapporter, forskningsstudier och i några fall mer omfattande resultat- och erfarenhetspresentationer. Någon samlad överblick har dock inte tidigare presenterats och anläggningarna har heller inte jämförts inbördes.

I föreliggande rapport har vi valt att presentera de fyra våtmarkerna dels med enskilda beskrivningar av utformning och reningsresultat och dels i en jämförande diskussion kring likheter och skillnader. Referenser som är kopplade till den specifika våtmarken finns listade i slutet av varje enskild beskrivning.

Syftet med denna sammanställning är att på ett överskådligt sätt redovisa likheter och skillnader i utformning, belastning och reningsresultat som underlag för en jämförelse mellan anläggningarna. För att ge en bättre förståelse kring de faktorer och processer som påverkar anläggningarnas funktion presenteras resultat från ett antal detaljstudier som utförts vid respektive våtmark. Utifrån detta samlade underlag dras vissa generella slutsatser kring betydelsen av utformning, beskickning och vegetationssammansättning.

Vattenrening i våtmarker

Våtmarken utgör en mycket produktiv miljö där den befinner sig i gränslandet mellan vatten och land. Omväxlande syrgashalter över dygnet och rummet, varierande djup, god tillgång till organiskt material i form av förmultnande växtdelar och ofta relativt hög vattentemperatur till följd av snabb uppvärmning är alla faktorer som ger förutsättningar för snabb omsättning av organiskt material och närsalter. De våtmarker som anläggs för vattenrening utformas oftast för att omvandla löst kväve i vattnet till kvävgas, fastlägga fosfor och bryta ner organiskt material (mätt som BOD₇, biologisk syreförbrukning).

De flesta våtmarker som anlagts för polering av avloppsvatten i Sverige har i första hand utformats för att avskilja kväve. Kväve i avloppsvatten som inte genomgått biologisk behandling föreligger till allra största delen som ammoniumkväve (NH₄⁺-N). Ammoniumkväve är en positiv jon som har förmågan att bindas till markpartiklar och humusföreningar vilka generellt är negativt laddade.

I avloppsvatten som behandlats i ett luftat biologiskt steg föreligger kvävet däremot främst som nitratkväve, (NO_3^- -N). Nitratjonen är p.g.a. sin negativa laddning mer lättlöslig i både mark- och vattensystem än ammonium.

De processer som är av störst betydelse för långsiktig kväveavskiljning i våtmarker är mikrobiell omsättning av kväve genom s.k. nitrifikation och denitrifikation. Ammoniumkväve omvandlas av nitrifierande bakterier till nitrat som sedan kan omvandlas vidare och återgå till luften som kvävgas. Nitrifikationen, omvandlingen av ammoniumkväve till nitratkväve, utförs av bakterier som utnyttjar ammoniumkvävet som energikälla. Dessa bakterier är beroende av syre för sin andning vilket gör processen känslig för syrebrist. Nitrifikationsbakterier är långsamväxande och dessutom känsliga för en rad ämnen, bland annat vissa tungmetaller, som blockerar bakteriernas enzymsystem och verkar nitrifikationshämmande.

Denitrifikationen, dvs. omvandlingen av nitratkväve till kvävgas utförs däremot av bakterier endast i syrefattiga miljöer. Denitrifikationsbakterierna är fakultativt anaeroba, vilket innebär att de vid brist på syrgas övergår till att andas nitrat. De använder organiska kolföreningar, t.ex. i form av förmultnande växtdelar, som kol- och energikälla. En effektiv denitrifikation är därför beroende av god tillgång på organiskt material.

Ammonium och nitrat kan även avskiljas genom växtupptag. Betydelsen av direkt växtupptag är däremot ofta liten i förhållande till den totala kväveavskiljningen om inte närsaltsbelastningen är mycket låg. Dessutom återförs de näringsämnen som tas upp av växten till största delen när den sedan bryts ned.

Partikulär fosfor avskiljs genom sedimentation och gynnas av att det finns rester av fällningskemikalier i vattnet från fällningssteget i reningsverket. Dessutom sker adsorption av fosfor till partiklar och ytor samt kemisk bindning till järn, aluminium och kalcium. Fosfat kan liksom ammonium och nitrat tas upp temporärt av vegetationen. Organiskt material (BOD) i partikulär form sedimenterar i dammarna och bryts sedan ned av heterotrofa (nedbrytande) bakterier i både syrerika och syrefattiga miljöer. Även lösta organiska föreningar omsätts snabbt av nedbrytande bakterier.

För alla dessa processer är växtligheten av central betydelse. Rent fysiskt utgör den ett filter för vattnet. Vidare är det på växtligheten och dess delvis förmultnade delar i marken eller bottarna som bakterierna trivs. I växtförnan och på växter i vattenmassan finns dessutom en stor mängd negativt laddade adsorptionsytor. På dessa fastnar bl.a. ammoniumjoner som då blir tillgängliga för nitrifikation. När växtligheten slutligen vissnar fyller den en funktion som kol- och energikälla vid denitrifikationen.

Allmänt om anläggningarna

Det fyra anläggningarna kan grupperas parvis med avseende på det vatten de är utformade för att behandla. Magle och Ekeby mottar båda ett vatten som har genomgått en långtgående mekanisk, kemisk och biologisk behandling. Det innebär att det mesta av fosfor och organiskt material, mätt som BOD (biologisk syreförbrukning) har avskiljts. Kvävet är till ca 70 % nitrifierat och utgörs i utgående vatten till största delen av nitrat (NO_3^-). Våtmarkernas huvuduppgift är i dessa fall alltså att genom bakteriell denitrifikation omvandla nitratkväve till kvävgas.

Våtmarkerna i Oxelösund och Nynäshamn (Alhagen) är däremot anlagda som komplement till reningsverk som helt saknar biologisk behandling. I den mekaniska behandlingen och kemiska fällningen har merparten av fosfor samt en stor del av det organiska materialet avskiljts. Halterna av BOD som kommer in till våtmarkerna är dock flera gånger högre än i Magle och Ekeby. Kvävet i det vatten som går ut till våtmarkerna föreligger till största del som ammonium (NH_4^+), vilket innebär att den första delen av våtmarken måste utformas för att möjliggöra effektiv nitrifikation och slutligen för att gynna denitrifikation. Dessa två processer kräver mycket olika miljöförhållanden som beskrivits ovan och det är svårt att optimera båda processerna samtidigt. I Våtmark Alhagen och i viss mån även Oxelösund har man löst detta genom att dela upp våtmarken i en övre och nedre del som optimeras för respektive process.

Både det kvarvarande organiska materialet och ammoniumkvävet verkar syretärande. Syresättning av vattnet är därför av största betydelse i början av dessa system för en aktiv nitrifikation. Våtmarkerna Oxelösund och Alhagen är båda relativt lågbelastade (17-21 mm vatten/dygn) för att erbjuda tid och rum för den syrekrävande nitrifikationen. Ekeby och Magle, där vattnet främst skall denitrifieras, belastas med betydligt större vattenmängder per ytenhet (57-155 mm/dygn).

Det är dock inte enbart föroreningarnas sammansättning och belastningen som skiljer anläggningarna åt. Vattentransporten genom Magle och Ekeby sker genom ett kontinuerligt flöde, vattnet rinner genom olika dammar där vattennivåerna är relativt konstanta, medan vattnet i de inledande dammarna i Oxelösund och Alhagen pulsas ut. Pulsningen innebär att de inledande parallella dammarna omväxlande fylls och töms (en viss mängd vatten finns alltid kvar i dammarna). Tanken med denna beskickning är dels att förbättra ytutnyttjandet genom bättre vattenspridning (minskad risk för hydraulisk kortslutning) och dels att gynna syresättning av de sediment och växtytor där nitrifikationen äger rum.

Samtliga fyra anläggningar har en total vattentäckt yta på 20-30 ha. Merparten av dessa ytor utgörs av grunda kärr eller dammar. I den centrala delen av Våtmark Alhagen finns även en ca 2 ha stor översilningsyta, vilket är en gräsbevuxen, flackt sluttande yta avsedd att gynna syrekrävande processer som nitrifikation samt mekanisk filtrering. En liknande yta, dock betydligt mindre, finns också före en av de inledande dammarna i Oxelösund.

Magle våtmark

Beskrivning

Magle våtmark är lokaliserad i västra Hässleholm, Hässleholms kommun. Till skillnad från de övriga våtmarkerna i denna studie, vars främsta syften är att minska kväveutsläppen, anlades Magle huvudsakligen för att minska fosforbelastningen till den kraftigt övergödda Finjasjön. Våtmarken anlades 1995 delvis på tidigare åkermark och delvis på skogsmark och mottar mekaniskt, kemisk och biologiskt behandlat avloppsvatten från Hässleholms reningsverk.

Dammsystemet består av totalt sex dammar (fig. 1). Inledningsvis finns en inloppsdamm, därefter följer fyra parallella dammar och våtmarken avslutas i en gemensam utloppsränna. Den vattentäckta dammytan är 20 ha och medeldjupet i dammarna är ca 0,5 m. Vattenflödet till och från de fyra parallella dammarna styrs av överfall och flödesbelastningen till inloppsdammen. De parallella dammarna är indelade i tre sektioner vardera med bankar eller öar emellan. Varje sektion inleds med en djupdel i syfte att skapa syrebrist vid botten för att gynna denitrifikationen. Dammarna fortsätter därefter med grunda partier, tänkta att gynna syresättning av sedimenten och därmed fastläggning av fosfor.



Fig. 1. Magle våtmark. Foto Hässleholms kommun.

Vegetationen utgörs främst av undervattensvegetation, till största delen bestående av axslinga (*Myriophyllum spicatum*) och vattenpest (*Elodea canadensis*). Under sommaren kan de öppna vattentyterna och undervattensvegetationen täckas av trådformiga grönalger. Längs kanterna står främst bredkaveldun (*Typha latifolia*).

Fosfor som tillförs våtmarken består till stor del av fosfat som lätt kan tas upp av växter och alger. För att förhindra frigörelse av fosfor vid nedbrytningen av växterna, skördas dammarna vartannat år.

Reningsresultat

Flödet till och från våtmarken mäts kontinuerligt med en elektromagnetisk flödesmätare i inloppet och i en parshallrännan med tryckgivare för nivåmätning i utloppet. Ett provtagningsprogram har följts sedan 1995 och vattenprover har tagits en gång i veckan på inkommande respektive utgående vatten till och från våtmarken. Nedan är en sammanställning av analysresultaten från inkommande och utgående vatten samt reningsresultat i genomsnitt under driftsåren 1996-2001. Halterna är ej flödeskorrigerade, medan för beräkning av mängdavsiljning har linjärinterpolerade koncentrationer på dygnsbasis multiplicerats med kontinuerliga dygnsslöden.

Flödesbelastning per yta: 57 mm/d (11 500 m³/d)
 Teoretisk uppehållstid: 7-8 dygn
 Kvävebelastning: 4,2 ton N/ha, år
 Kväveavsiljning: 1,2 ton N/ha, år (29%)
 Fosforbelastning: 33 kg P/ha, år
 Fosforavsiljning: 10 kg P/ha, år (31%)

	<u>Inkommande konc.</u> (mg/l)	<u>Utgående konc.</u> (mg/l)
[Tot-N]:	20	14
[NH ₄ -N]:	5,8	3,8
[NO ₃ -N]:	14	8,9
[Tot-P]:	0,15	0,11
[PO ₄ -P]:	0,11	0,041
BOD ₇ :	2,4	4,8

Inkommande kväve utgörs till största delen av nitrat och denitrifikation är den huvudsakliga kväveomvandlingsprocessen. Kväveavsiljningen har varierat mellan 19-39 % under åren och följer en tydlig säsongsdynamik (fig. 2-3). Kväveavsiljningen sker främst under den varma säsongen, troligtvis på grund av högre aktivitet hos denitrifikationsbakterierna vid högre temperatur, men även pga. att växtupptag av kväve sker under denna tid.

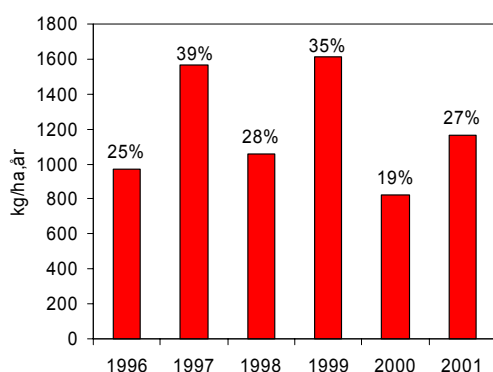


Fig. 2. Mängdavsiljning av totalkväve samt procentuell avsiljning av inkommande mängd totalkväve åren 1996-2001.

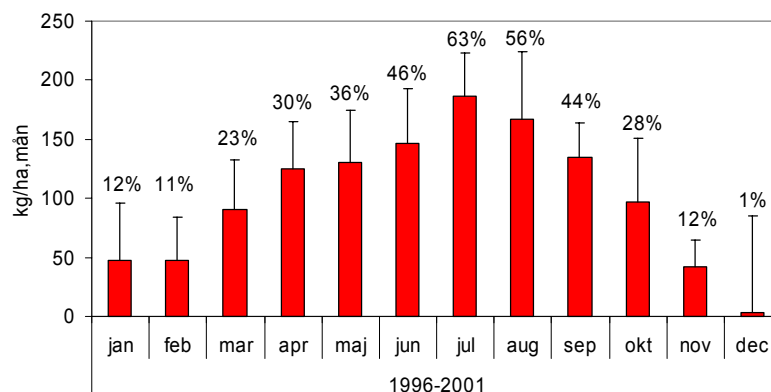


Fig. 3. Medelavsiljning av totalkväve för varje månad under år 1996-2001. Mängdavsiljning samt procentuell avsiljning av inkommande mängd totalkväve. Felstaplar visar standard error.

Fosforavskiljningen har legat kring 30 % av inkommande mängd fosfor, undantaget år 1997 när den minskade till 7 % (fig. 4). Den låga fosforavskiljningen under detta år kan bero på att våtmarken skördades första gången under hösten 1997 och att mycket bottenslam rördes upp i samband med detta. Effekten av detta varade under flera månader. Dessutom var inkommande halter och belastningen av fosfor betydligt lägre under 1997. Över året har variationer i inkommande mängd fosfor väl avspeglats i avskiljd mängd fosfor. Utgående halter har dock inte visat sig vara relaterade till inkommande halter, utan ligger kring en konstant låg nivå (0,11 mg/l, standardavvikelse 0,04 mg/l).

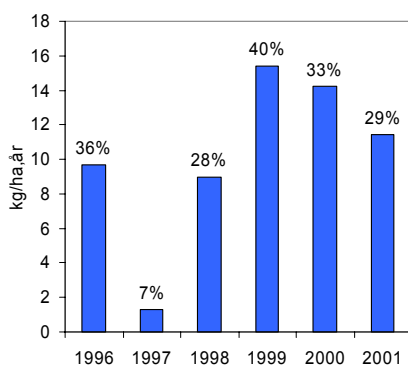


Fig. 4. Årsavskiljning av totalfosfor samt procentuell avskiljning av inkommande mängd totalfosfor åren 1996-2001.

Vattnets innehåll av biologiskt mer eller mindre nedbrutet material (mätt som BOD₇) ökar mätbart vid passagen genom våtmarken. Detta är troligtvis ett resultat av den stora algproduktionen som sker i dammarna under sommaren. Mikroskopstudier visar att ökningen i huvudsak beror på förekomst av enskilda celler och aggregat av grönalgen *Cladofora* (grönslick) samt delar av diverse vattenväxter. Trots en ökning av BOD-halterna i våtmarken är utgående halter relativt låga (4,8 mg/l, standardavvikelse 2,9 mg/l).

I Magle har också stickprover på indikatorbakterierna *E. coli* och fekala streptokocker tagits på inkommande och utgående vatten. Det finns en relativt stor variation i både inkommande och utgående halter. I medeltal har halten *E. coli* ut från våtmarken legat kring 280 st/100 ml och fekala streptokocker 160 st/100 ml. Detta ska jämföras med halterna ut från reningsverket på 15 000 st/100 ml respektive 2 100 st/100 ml, det vatten som tidigare gick till Finjasjön.

Specialstudier

Kväveomvandlingen i våtmarken har beskrivits i en modell och jämförts med Oxelösunds våtmark (Kallner och Wittgren 2001). Här visades att ammonium och nitratomvandling för de två våtmarkerna inte tillfredställande kunde beskrivas med en modell som tog hänsyn till vattenflöde, kvävekoncentrationer och temperatur. Detta visar att fler faktorer är kritiska för kväveprocesserna och att mer information om vilka faktorer som styr och hur dessa varierar i tid och rum troligtvis skulle förbättra beskrivningen av kväveomvandlingen.

För att studera var kväveprocesserna äger rum i en våtmark undersöktes sommaren 1999 olika bakteriesamhällens nitrifikations- och denitrifikationsförmåga i Magle våtmark (Bastviken et

al. 2002). Bakteriesamhällen på axslina, alger, döda grenar och sediment jämfördes. Resultaten visade att döda grenar hade en högre nitrifikationskapacitet, vilket kan sägas vara ett mått på mängden aktiva bakterier per yta, än de övriga ytorna. Sedimenten visade sig vara den viktigaste platsen för denitrifikation, troligtvis p.g.a. god tillgång på organiskt material. Sammanfattningsvis bekräftar studien att en god tillgång på ytor i syrerik miljö kan öka nitrifikationsförmågan i en våtmark, samt att mycket organiskt material i syrefattiga miljöer höjer denitrifikationskapaciteten.

Mer att läsa

Kallner Bastviken, S., Eriksson, P., Martins, I., Neto, J., Leonardson, L. och Tonderski, K. Potential nitrification and denitrification rates of biofilms in a constructed wastewater treatment wetland. Manuskript (Magle, Sweden).

Kallner, S. och Wittgren H.B. (2001) Modelling nitrogen transformations in surface flow wastewater treatment wetlands in Sweden. *Water Science and Technology* 44 (11-12): 237-244.

Hässleholms kommun, 2000. Magle våtmark 1995-99. Prövotidsredovisning. Tekniska kontoret, 2000-06-09.

Information finns även på <http://www.hassleholmsvatten.se/>

Ekeby våtmark

Beskrivning

Ekeby våtmark är lokaliserad i anslutning till Ekeby reningsverk som mottar avloppsvatten från Eskilstuna tätort. Anläggningen togs i drift 1999 och huvudsyftet är att avskilja kväve ur det mekaniskt, kemiskt och biologiskt förebehandlade avloppsvattnet.

Systemuppbyggnaden liknar den i Magle och inleds med en inloppskanal genom vilken vattnet fördelas till fem parallella dammar (fig. 5). Dammarna mynnar i en gemensam uppsamlingskanal, vilken leder vattnet vidare till ytterligare tre parallella dammar. Dammsystemet avslutas med en gemensam utloppskanal, varifrån vattnet via en provtagningsstation leds till Eskilstunaån och vidare ut i Mälaren. Den vattentäckta dammytan är 28 ha och medeldjupet i dammarna är ca 1 m. Vattenflödet till och från dammarna styrs av överfall och flödesbelastningen till inloppsdammen.

Ekeby våtmark drivs under perioden maj till december. Under vintern pumpas vattnet från reningsverket till fjärrvärmeverkets värmepumpar för utvinning av värmeenergi och leds därifrån till recipienten utan att passera våtmarken.

Våtmarkens dammar är till viss del (ca 20 %) täckt av övervattensvegetation. Denna består främst av jättegröe (*Glyceria maxima*), men där finns även säv (*Scirpus lacustris*) och kaveldun (*Typha sp.*) m.m. Undervattensvegetationen utgörs av flera arter, b.l.a. hornsärv (*Ceratophyllum demersum*), vattenpest (*Elodea canadensis*) och Axslinga (*Myriophyllum spicatum*). Dessutom finns bestånd av näckros, dyblad och svalting. Fisk som härstammar ifrån recipienten Eskilstunaån kan förekomma i dammarna.



Fig. 5. Ekeby våtmark med Ekeby reningsverk. Foto Eskilstuna Energi & Miljö.

Reningsresultat

Flödet till våtmarken mäts kontinuerligt med ett bubblerör i en parshallränna. Provtagning på inkommande och utgående vatten har pågått sedan 1999. Prover har tagits en gång i veckan under driftstiden (maj-dec.). Nedan är en sammanställning av analysresultaten från inkommande och utgående vatten samt reningsresultat i genomsnitt under driftstiden maj till december åren 1999-2001. Halterna är ej flödeskorrigerade, medan för beräkning av mängdavsiljning har linjärinterpolerade koncentrationer på dygnsbasis multiplicerats med kontinuerliga dygnsflöden. Utgående flöden har antagits lika som inkommande flöden.

<i>Flödesbelastning per yta:</i>	<i>155 mm/d (46 500 m³/d)</i>
<i>Teoretisk uppehållstid:</i>	<i>6-7 dygn</i>
<i>Kvävebelastning:</i>	<i>6,3 ton N/ha, driftstid*</i>
<i>Kväveavskiljning:</i>	<i>1,5 ton N/ha, driftstid* (23%)</i>
<i>Fosforbelastning:</i>	<i>77 kg P/ha, driftstid*</i>
<i>Fosforavskiljning:</i>	<i>41 kg P/ha, driftstid* (54%)</i>

* Årlig belastning och avskiljning är uträknat endast för perioden maj till december.

	<u><i>Inkommande konc.</i></u>	<u><i>Utgående konc.</i></u>
	<u><i>(mg/l)</i></u>	<u><i>(mg/l)</i></u>
<i>[Tot-N]:</i>	<i>20</i>	<i>15</i>
<i>[NH₄-N]:</i>	<i>5,4</i>	<i>1,9</i>
<i>[NO₃-N]:</i>	<i>12</i>	<i>11,7</i>
<i>[Tot-P]:</i>	<i>0,23</i>	<i>0,10</i>
<i>[PO₄-P]:</i>	<i>0,12</i>	<i>0,06</i>
<i>BOD₇:</i>	<i>5,2</i>	<i>4,7</i>

Nitrat är den dominerande kvävefraktionen i inkommande vatten och därmed är denitrifikation den huvudsakliga omvandlingsprocessen. Kväveavskiljningen i Ekeby våtmark är jämn under den del av året som våtmarken är i drift (fig. 6). Andra och tredje driftsåret (2000-2001) visar bättre avskiljning än det första året (1999). Den förbättrade denitrifikationen kan bero på att mer vegetation har etablerats, med förbättrad tillgång på påväxtytor samt kol- och energikälla för denitrifikationsbakterierna som följd.

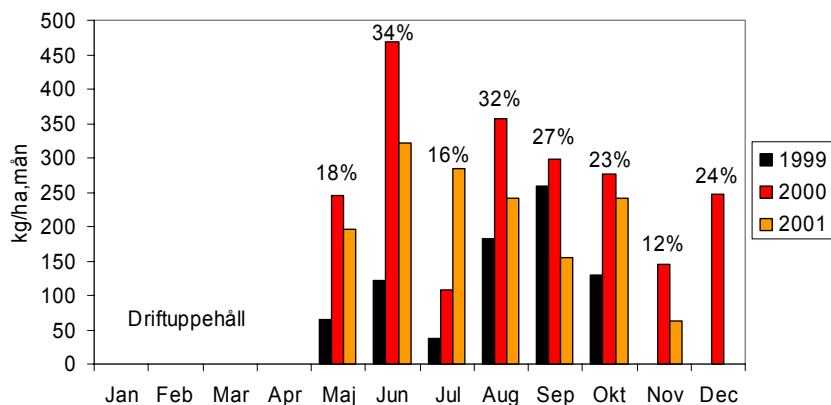


Fig. 6. Avskiljning av totalkväve för varje månad under driftstiden 1999-2001. Procentsiffrorna visar medelavskiljningen av inkommande mängd totalkväve för varje månad.

Både inkommande fosfor- och BOD-halter är låga. Halterna minskar dock ytterligare i våtmarken och utgående koncentrationer är i genomsnitt 0,10 mg fosfor/l (standardavvikelse 0,05 mg/l) och 4,7 mg BOD/l (standardavvikelse 2,5 mg/l). Fosforavskiljningen styrs liksom i Magle av inkommande mängd fosfor och utgående fosforkoncentrationer är inte korrelerade till inkommande koncentrationer, utan har ett stabilt lågt värde.

Mer att läsa

Information finns även på <http://www.eskilstuna-em.se/>

Våtmark Oxelösund

Beskrivning

Våtmark Oxelösund ligger på Brannäshalvön strax norr om Oxelösunds tätort. Våtmarken anlades 1993 och var då den första fullskaleanläggningen avsedd för att avskilja kväve från kommunalt avloppsvatten i Skandinavien.

Till våtmarken leds vatten som genomgått mekanisk och kemisk rening (som fällningskemikalie används aluminiumsulfat) i Oxelösunds avloppsreningsverk. Anläggningen är belägen i en lerfylld dalgång som sträcker sig ut mot Östersjön. Våtmarken består huvudsakligen av fem dammar som är förbundna med kanaler (fig. 7). Då den flacka topografin i området omöjliggör självfall genom ett helt seriellt dammsystem valde man att utforma anläggningen som två parallella system, det norra (med de två dammarna N1 och N2) respektive det södra (med dammarna S1 och S2) dit vattnet växelvis leds från den inledande inlopps bassängen. Våtmarken avslutas med en gemensam damm, SN3.

De fyra parallella dammarna fylls och töms omväxlande. Den tidigare regimen med 3-4 dagars fyllning respektive tömning av de inledande dammarna ersattes under 2001 av en regimen som innebär 2-3 dagars fyllning respektive tömning. Syftet med förändringen var att förbättra ytutnyttjandet i våtmarken. Fyllning och tömning åstadkoms genom att luckor i trärännor i utloppen från dammarna manuellt öppnas och stängs.

Fram till 1996 pumpades vattnet från reningsverket till två separata påsläppspunkter i våtmarken, en för det södra och en för det norra systemet. Det inkommande vattnet behandlades då i filterbäddar konstruerade av masugnsslagg. 1997 byggdes inloppet om och stenfiltren, som p.g.a. igensättning fungerade dåligt, ersattes av en gemensam inlopps- och sedimentationsbassäng för de båda systemen. För att sammanbinda den nya påsläppspunkten med det norra systemet anlades en serie grunda dammar söder om damm N1.

Våtmarken upptar en area av 24 ha (före ombyggnad 23 ha). Den yta som regelbundet översvämmas eller är vattendränkt är dock något mindre, beroende på att kanalbildning uppstår i vissa kärrytor. Ytbelastningen och avskiljningen är därför beräknad på 23 ha. Vattennivåskillnaden mellan fyllda och dränerade dammar (dammarna är sällan helt tömda) varierar från 0,6 till 1,5 m, beroende på damm. Uppehållstiden i våtmarken var fram t.o.m. 2000 ca 8 dygn. Efter att den nya beskicksningsregimen tagits i bruk är uppehållstiden ca 6 dygn.

Vegetationen i våtmarkens dammar domineras av övervattensvegetation, framförallt bredkaveldun (*Typha latifolia*). I de inledande dammarna har på senare år andra arter, så som bladvass (*Phragmites australis*) och högvuxna starrarter, t.ex. jättestarr (*Carex riparia*) kommit att bilda täta bestånd. I kanaler och dammar finns också relativt stora bestånd av undervattensväxter så som vattenpest (*Elodea canadensis*) och olika natearter.



Fig. 7. Våtmark Oxelösund. Bilden visar damm N2 samt en mindre del av de avslutande damm SN3 (bildens nederkant). Foto Bo Björkdahl.

Reningsresultat

Flödet till och från våtmarken mäts med en induktivt registrerande flödesmätare i reningsverket och ett ekolod i en rektangulär mätränna i våtmarkens utlopp. Ett provtagningsprogram har följts sedan 1994 och halter i inkommande vatten har analyserats från flödesproportionella dygnsprover som slagits samman till veckoprover före analys. I utgående vatten tas stickprover två gånger per vecka vilka slås samman till tvåveckorsprover före analys (inledningsvis gjordes analyser varje vecka). Nedan återfinns en sammanställning av analysresultaten från inkommande och utgående vatten samt reningsresultat i genomsnitt under driftsåren 1994-2001. Halterna är ej flödeskorrigerade, medan för beräkning av mängdavskiljning har koncentrationer på en- eller tvåveckorsbasis multiplicerats med det totala flödet under samma period.

Flödesbelastning per yta: 21 mm/d (4 800 m³/d)
Teoretisk uppehållstid: 8 dygn (1994-2000)
Kvävebelastning: 1,7 ton N/ha, år
Kväveavskiljning: 0,7 ton N/ha, år (39%)
Fosforbelastning: 30 kg P/ha, år
Fosforavskiljning: 27 kg P/ha, år (90%)

	<u>Inkommande konc.</u>	<u>Utgående konc.</u>
	<u>(mg/l)</u>	<u>(mg/l)</u>
[Tot-N]:	23	15
[NH ₄ -N]:	17	12
[NO ₃ -N]:	ej provt.	0,6
[Tot-P]:	0,40	0,04
[PO ₄ -P]:	ej provt.	ej provt.
BOD ₇ :	21,9	3,9

Inkommande kväve till våtmarken utgörs till största delen av ammonium och måste därför först genomgå nitrifikation innan det kan vidareomvandlas till kvävgas genom denitrifikation. Under åren 1994-1998 ökade kväveavskiljningen i våtmarken, både i absoluta och relativa tal och 1998 avskiljdes 50 % av den kvävemängd som kom till våtmarken (fig. 8). Under 1999-2000 försämrades reningen avsevärt. Orsaken till detta är inte säkerställd, men verkar utifrån genomförda undersökningar bero på att våtmarken tillförts ämnen med inkommande vatten som hämmat kväveavskiljningsprocessen. En tillbakagång av undervattensvegetation har också observerats i den ena inledande dammen, vilken kan vara en bidragande orsak till försämrade funktion. Svårigheterna för vegetationen att överleva i denna del av våtmarken beror med stor sannolikhet på ogynnsamma förhållanden orsakade av höga halter suspenderat material i kombination med höga halter av framförallt tungmetallen koppar. Försämrade ljusförhållanden tros ha lett till att även låga halter av koppar blivit kritiskt för växterna (Neuschütz, 2002). Under 2001 har våtmarken återhämtat sig och försämringen i kvävereduktion verkar därför inte vara ett tecken på att reningskapaciteten avtar med tiden.

Kväveavskiljningen har varierat mellan 29-50 % under åren och följer, liksom i Magle, en tydlig säsongsdynamik, med högst avskiljning under sommarperioden (fig. 9).

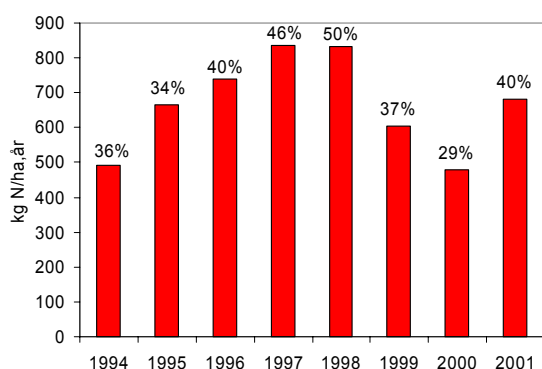


Fig. 8. Mängdavs-kiljning av totalkväve samt procentuell avskiljning av inkommande mängd totalkväve åren 1994-2001.

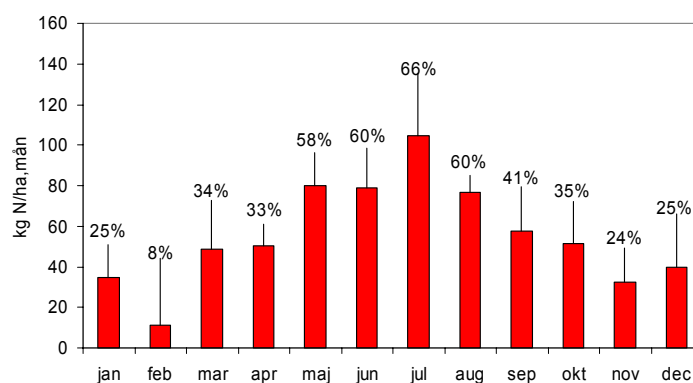


Fig. 9. Medelavs-kiljning av totalkväve för varje månad under år 1994-2001. Mängdavs-kiljning samt procentuell avskiljning av inkommande mängd totalkväve. Felstaplarna visar standard error.

Den årliga belastningen av fosfor till våtmarken har i genomsnitt varit 30 kg per ha och år. Avskiljningen i våtmarken var i genomsnitt 27 kg per ha och år och den effektiva avskiljningen har resulterat i låga halter av fosfor i utgående vatten, i genomsnitt 0,04 mg/l. Halterna i utgående vatten har inte påverkats av att inkommande halter fosfor ökat något under 1998 och 1999 (fig. 10).

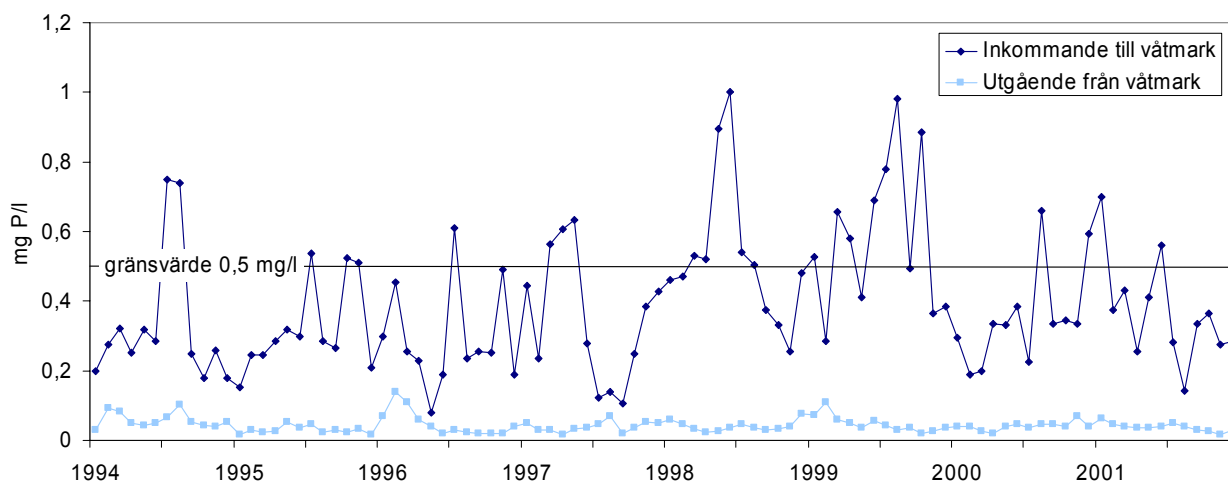


Fig. 10. Inkommande och utgående fosforhalter i Oxelösunds våtmark under driftstiden 1994-2001.

Även halterna av BOD har legat relativt stabilt i utloppet från våtmarken. Medelkoncentrationen var under perioden ca 4 mg/l (standardavvikelse 2,6 mg/l). Gränsvärdet för utsläpp av BOD från reningsanläggningen är, på kvartalsbasis, satt till 15 mg/l.

Specialstudier

Fastläggning av fosfor i våtmarkssystemet

Att fosfor avskiljs effektivt i våtmarken framgår tydligt av resultaten ovan. För att få bättre kunskap om vilken form fosfor fastläggs i och om det finns risk att våtmarken når en mättnad med fosforläckage som följd genomfördes under hösten 1996 sedimentprovtagningar i våtmarken (Gunnarsson, 1997). Sedimentproverna kontrollerades både på sitt totala fosforinnehåll och på vilken form fosfor låg bunden i.

Resultaten visade att merparten av inkommande fosfor till våtmarken fastlades vid inloppet. Hela 97 % av avloppsvattnets innehåll av fosfor förelåg i partikulär form, varav aluminiumbunden fosfor var den mest dominerande formen i prover tagna närmast inloppet. Denna fraktion härstammade sannolikt från reningsverkets kemiska fällning.

Sedimentation och ackumulering av fosfor i sediment var begränsat till en relativt liten yta nära våtmarkens inlopp. I inloppet till damm N1 var koncentrationen av fosfor i sedimentet jämförbar med koncentrationen i slam från det kemiska steget i reningsverket (ca 45 mg per g askfri torrsvikt).

För att undvika resuspension av fosfor rekommenderades att sedimenten återkommande avlägsnas. Ett sådant förfarande frigör också nya adsorptionsytor för fosfor, genom att lera med god fosforbindande förmåga friläggs. Erfarenheterna av undersökningen bidrog till att våtmarkens inloppsområde byggdes om under 1997 varvid den gemensam sedimentationsbassängen för de båda systemen anlades. Denna sedimentationsbassäng slamtöms med jämna mellanrum för att minska risken för resuspension av fosfor.

Nitrifikationskapacitet i växtförna

Redan under det första driftåret (1994) gjordes studier i våtmarken som visade att nitrifikationen var det reningssteg som begränsade den totala kväveavskiljningen i våtmarken (Wittgren & Tobiason, 1995).

Eftersom nitrifikationsbakterier återfinns främst på sediment- och växtytor var en hypotes att det rådde brist på sådana ytor i våtmarken. Växtförna, dvs. mer eller mindre förmultnade växtdelar, bidrar med en stor andel av dessa ytor i våtmarker och följaktligen bör en brist på sådant material i nyanlagda våtmarker kunna vara en begränsande faktor för nitrifikationen. Växtförna har också god förmåga att tillfälligt binda de positivt laddade ammoniumjonerna (NH_4^+) så att dessa hålls kvar i systemet i samband med tömning av dammarna. När syre når de ytor där både joner och bakterier finns är förutsättningar för nitrifikation uppfyllda.

En annan möjlig förklaring till den begränsade nitrifikationen är att vissa vattenväxtarter som bredkaveldun (*Typha latifolia*), vilken dominerade våtmarken under det första driftåret, är mindre lämpliga som påväxtyta för nitrifikationsbakterier, t.ex. genom att växten utsöndrar ämnen som hämmar bakterierna.

I juni 1996 genomfördes en studie som hade till syfte att utröna om växtförna från olika vattenväxtarter har olika förmåga att tillfälligt binda positiva joner (s.k. katjonbyteskapacitet, CEC). Samtidigt undersöktes också om aktiviteten hos nitrifierande bakterier på växtförnan skilde sig beroende på vilken växtart förnan härstammade från (Eriksson & Andersson, 1999). Växtförna från fyra olika arter, skogssäv (*Scirpus sylvaticus*), flaskstarr (*Carex rostrata*), sjöfräken (*Equisetum fluviatile*), och bredkaveldun (*Typha latifolia*) undersöktes.

Resultaten visade att både katjonbyteskapaciteten och nitrifikationen var störst i växtförna från skogssäv och flaskstarr. Växtförna från sjöfräken uppvisade lägst katjonbyteskapacitet och nitrifikation. Trots att katjonbyteskapaciteten inte direkt kunde korreleras till aktiviteten hos de nitrifierande bakterierna så visade resultaten att en hög katjonbyteskapacitet kan ha positiv inverkan på nitrifikationsprocessen. Resultaten visade också att växtförna från bredkaveldun hade låg potentiell nitrifikation trots en hög katjonbyteskapacitet, vilket indikerar att kaveldun inte fungerar som en bra påväxtyta för nitrifierare. Detta kan bero på att de nitrifierande bakterierna utkonkurreras av nedbrytande (heterotrofa) bakterier som nyttjar det lättnedbrytbara bredkaveldunet som kol- och energikälla (Eriksson & Andersson, 1999).

Avskiljning av smittämnen

Även om det sker en avsevärd reduktion av smittämnen i ett reningsverk, kan halterna av smittbärande mikroorganismer fortfarande vara höga i det vatten som lämnar verket. Med anledning av detta har två olika studier genomförts i Oxelösund för att undersöka avskiljningen av patogener, dvs. sjukdomsalstrande bakterier, virus och parasiter, i våtmarken.

Resultaten från båda dessa studier har visat på en effektiv avskiljning av indikatororganismer från våtmarkens inlopp till dess utlopp (Wittgren *et al.*, 1996; Carlander, 1998). Särskilt effektiv var avskiljningen av *E. coli* och fekala streptokocker där halterna minskade med två till tre tiopotenser. Utgående halter låg på i genomsnitt 240 st/100 ml respektive 7 st/100 ml. Avskiljningen av sulfitreducerande clostridier, som bildar högresistenta sporer, samt kolifager, som används för att visa på förekomst och avskiljning av virus, var mindre effektiv. Halterna minskade i genomsnitt med en tiopotens och utgående halter låg på i genomsnitt 150 st/100 ml respektive 2600 st/100 ml.

Överlevnaden av indikatororganismer är generellt högre vid låga vattentemperaturer. Dock visade resultaten från provtagningar genomförda under november 1995 och 1997 inte någon signifikant minskning av avskiljningen jämfört med prover tagna under sommaren. Detta indikerar att det inte är biologiska processer utan snarare bindning till och sedimentering med partiklar som styr avskiljningen från vattenfasen (Carlander, 1998).

Mer att läsa

Andersson, J., Wittgren, H. B. och Ridderstolpe, P., 2000. Våtmark Oxelösund - resultat och erfarenheter från sex års drift. *Vatten* 56: 235-245.

Carlander, A., 1998. Förekomst och reduktion av indikatororganismer i våtmarkssediment – behandlingssteg för kommunalt avloppsvatten respektive dagvatten. Examensarbete i Biologi, Linköpings Universitet.

Eriksson, P. G. och Andersson, J. L. 1999. Potential nitrification and cation exchange on litter of emergent, freshwater macrophytes. *Freshwater Biology*, Vol. 42, nr. 3, 479-486.

Gunnarsson, S., 1997. Upplagring av fosfor i sediment i en våtmark belastad med avloppsvatten. Seminarier och examensarbeten nr. 28, Avd. för vattenvårdslära, SLU Uppsala.

Neuschütz, C. 2002. Reasons for a decrease of submersed vegetation in a constructed wetland. Examensarbete nr 26, Botaniska institutionens metallgrupp, Stockholms Universitet.

Wittgren, H.B., Stenström, T.-A. och Sundblad, K., 1996. Removal of indicator micro-organisms in surface-flow treatment wetlands. Reprints from the 5th international Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, September 15-19, 1996, Vienna, Austria, pp. I/19 1-8.

Wittgren, H. B. och Tobiasson, S. 1995. Nitrogen removal from pretreated wastewater in created wetlands. *Wat. Sci. Tech.* 32, 69-78.

Våtmark Alhagen

Beskrivning

Våtmark Alhagen är anlagd för att reducera främst kväve, men också BOD i avloppsvatten som genomgått mekanisk och kemisk rening (fällning med aluminiumsulfat) i det kommunala reningsverket. Våtmarken anlades 1997 på tidigare åkermark, försumpad betesmark och mossemark i den branta dalgången Alhagen ca 1 km norr om Nynäshamns tätort.

Våtmarkssystemet i Alhagen är uppdelat i två funktionellt sett olika delar, den övre och den nedre våtmarken (fig. 11). Den övre våtmarken är avsedd främst för att gynna oxidation av organiskt material och nitrifikation av kväve, medan den nedre delen i huvudsak är avsedd för denitrifikation. Den övre våtmarken inleds med en mindre inlopps-bassäng avsedd för slamavskiljning, vilken följs av två parallella dammar som fylls och töms omväxlande varannan dag. Därefter leds vattnet genom två seriella dammar innan det med två dagars intervall pulsas över en ca 2 ha stor översilningsyta som mynnar i en uppsamlingsdamm, den s.k. Skålpussen. Fyllning och tömning av dammarna i den övre våtmarken åstadkoms genom att luckor i brunnar öppnas och stängs.

I den nedre våtmarken, som tar vid efter Skålpussen, leds avloppsvattnet samman med dagvatten från ca 100 ha hårdgjorda ytor i Nynäshamns tätort samt från den nya infartsleden. Det blandade dag- och spillvattnet leds därefter genom ett system av kanaler och grunda kärr till utloppet i Östersjön.

Våtmarkens vattentäckta yta (inkl. översilningen) är ca 28 ha. Vattennivåskillnaden mellan fyllda och dränerade dammar (dammarna är sällan helt tömda) i den övre våtmarken varierar från ca 0,5 till 1,5 m, beroende på damm. I den nedre våtmarken är dammarna grundare, ca 0,3 till 1 m. Uppehållstiden i våtmarken är ca 14 dagar.

Vegetationen består i den övre våtmarken främst av övervattensvegetation så som bladvass (*Phragmites australis*), kaveldun (*Typha sp.*), jättestarr (*Carex riparia*) och skogssäv (*Scirpus sylvaticus*). Täta bestånd av undervattensvegetation förekommer först i vattensystemet nedströms översilningsytan och utgörs i den nedre delen av våtmarken av bitvis mycket täta bestånd av vattenpest (*Elodea canadensis*), hornsärv (*Ceratophyllum demersum*) och olika nate- och slingearter. I den nedre våtmarken dominerar övervattensvegetationen av olika starrarter. Där finns också stora partier med mossetorv.



Fig. 11. Våtmark Alhagen är anlagd i en smal dalgång som mynnar i Östersjön. I nederkant syns våtmarkens inloppsområde. Foto Marcus Nilsson.

Våtmarken har under åren 1999-2001 varit i drift under perioden april-december. Orsaken till driftuppehållet under vintern är dels att man gjort ombyggnationer i inloppet (uppgrundning av dammar och ombyggnad av inlopps-bassängen för att möjliggöra enklare slamtömning) och dels att man vill undvika skador på reglerluckor orsakade av isbildning. Man har också sett det som positivt för våtmarkens vegetation med en vintervila. Under 2002 kommer en ny SBR-anläggning (satsvis biologisk behandling) i reningsverket att tas i bruk, avsedda för behandling av mottaget brunnslam. Tillbyggnaden kommer att leda till att BOD- och ammoniumkvävebelastning till våtmarken minskar.

Reningsresultat

Flödet till och från våtmarken mäts enligt samma metod som i Oxelösund, med en induktivt registrerande flödesmätare i reningsverket och med hjälp av ett ekolod i en rektangulär mätträna i våtmarkens utlopp. Sedan 1999 följs ett provtagningsprogram för beräkning av inkommande och utgående mängder. Halter i inkommande vatten har analyserats från flödesproportionella dygnsprover som får representera veckomedelhalten. I utgående vatten tas stickprover var annan vecka. Nedan är en sammanställning av analysresultaten från inkommande och utgående vatten samt reningsresultat i genomsnitt under driftsåren 1999-2001. Halterna är ej flödeskorrigerade, medan för beräkning av mängdavsiljning har koncentrationer på en eller tvåveckorsbasis multiplicerats med det totala flödet under samma period.

Flödesbelastning per yta: 17 mm/d (4 700 m³/d)
 Teoretisk uppehållstid: 14 dygn
 Kvävebelastning: 1,6 ton N/ha, driftstid*
 Kväveavskiljning: 1,1 ton N/ha, driftstid* (70%)
 Fosforbelastning: 17 kg P/ha, driftstid*
 Fosforavskiljning: 12 kg P/ha, driftstid* (64%)

* Årlig belastning och avskiljning är uträknat endast för perioden maj till december.

	<u>Inkommande konc.</u> (mg/l)	<u>Utgående konc.</u> (mg/l)
[Tot-N]:	37	11
[NH ₄ -N]:	37	8,6
[NO ₃ -N]:	ej provt.	0,4
[Tot-P]:	0,37	0,12
[PO ₄ -P]:	ej provt.	ej provt.
BOD ₇ :	37,9	4,8

Inkommande kväve till våtmarken utgörs liksom i Oxelösund till största delen av ammonium. Halterna till Alhagen är dock generellt högre, i genomsnitt 37 mg/l, vilket tillsammans med höga BOD-halter ger en kraftig syretäring i de inledande dammarna. Detta har periodvis gett upphov till gråaktiga vatten och tillbakagång av vegetation, sannolikt till följd av svavelvätebildning. Trots detta har våtmarken som helhet klarat en hög och jämn kväveavskiljning under driftsperioden, ca 70 % av inkommande mängder avskiljs (fig. 12). Den beräknade negativa avskiljningen (dvs. utläckaget) av kväve under november 2000 kan misstänkas bero på att det exceptionellt stora vattenflödet under denna månad multiplicerats med ett haltstickprov som ej är helt representativt.

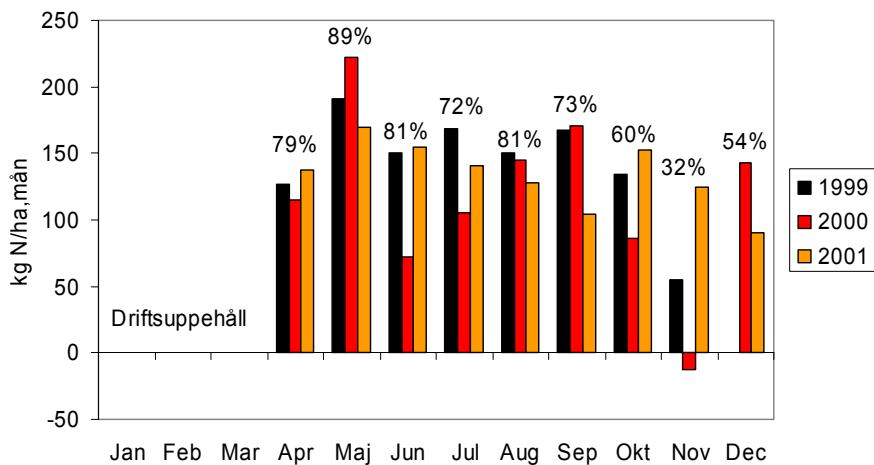


Fig. 12. Avskiljning av totalkväve för varje månad under driftstiden 1999-2001. Procentsiffrorna visar medelavskiljningen av inkommande mängd totalkväve för varje månad.

Även reduktionen av fosfor och BOD har varit avsevärd. Utgående halter uppvisar liten variation och har i genomsnitt varit 0,12 mg/l (standardavvikelse 0,07 mg/l) respektive 4,8 mg/l (standardavvikelse 3,0 mg/l). För fosfor ligger avskiljningsgraden på i genomsnitt 64 % och för BOD på 91 %.

Specialstudier

Översilning som metod för kväveavskiljning

Under sommaren 1999 gjordes en studie av kvävereningnsfunktionen i den drygt 2 ha stora översilningsytan i våtmarken (af Petersens, 1999). Det visade sig att ammoniumhalterna sjönk med i genomsnitt 8 mg/l i översilningsytan, vilket motsvarade en haltminskning på 26 %. En kvävebudget gjordes också vilken visade att den totala kvävereduktionen var 18 % av inkommande mängd vilket motsvarade knappt 400 kg/ha och månad under sommaren. Växtlighetens upptag och ökningen av markens mineralkväveförråd stod för en 1/3 av denna minskning medan nitrifikation och denitrifikation svarade för resterande 2/3 avskilt kväve. Studien visade också att det förekom kanalisering i ytan, varför dess kapacitet inte utnyttjades maximalt.

Nitrifikation och avskiljning av organiskt material

I funktionskontroller av våtmarken under åren 2000 och 2001 har ett intressant mönster för nedbrytning av organiskt material och kväve kunnat observeras. De höga BOD-halterna i inkommande vatten minskar relativt snabbt i den övre våtmarken (fig. 13). Detsamma gäller för syrgashalterna. Syret förbrukas när det lättnedbrytbara organiska materialet oxideras. De mikroorganismer som bryter ner organiska kolföreningar konkurrerar om syrgasen med nitrifikationsbakterier och förefaller vara mer konkurrenskraftiga i denna miljö (jämför med de särskilda studierna från Oxelösund).

Efter 3-4 dagars tid i våtmarken har nästan 90 % av det lättnedbrytbara organiska materialet brutits ned, varpå syrgashalterna stiger igen. Särskilt mycket syrgas tillförs under översilningen, där en mer effektiv syresättning av vattnet sker jämfört med i uppströms liggande dammar. Nitrifikationen skjuter fart i denna del av våtmarken och nitrat (NO_3^-), som inte alls förekommer i de övre dammarna, förekommer regelbundet i vattnet i nederkant av översilningen. En del av det bildade nitratkvävet omvandlades vidare till kvävgas (denitrifikation) och avgår till luften, medan en del transporteras vidare till de nedre delarna av våtmarken och denitrifieras där. I utgående vatten finns en liten andel organiskt kväve och nitratkväve, men fortfarande föreligger det mesta kvävet i ammoniumform. Slutsatsen är att den höga halten organiskt material i inkommande vatten till våtmarken först måste brytas ned innan det kan ske någon väsentlig nitrifikation. Detta tycks åtminstone gälla i miljöer där nitrifikationsbakterierna inte kan klara konkurrensen med de nedbrytande mikroorganismerna.

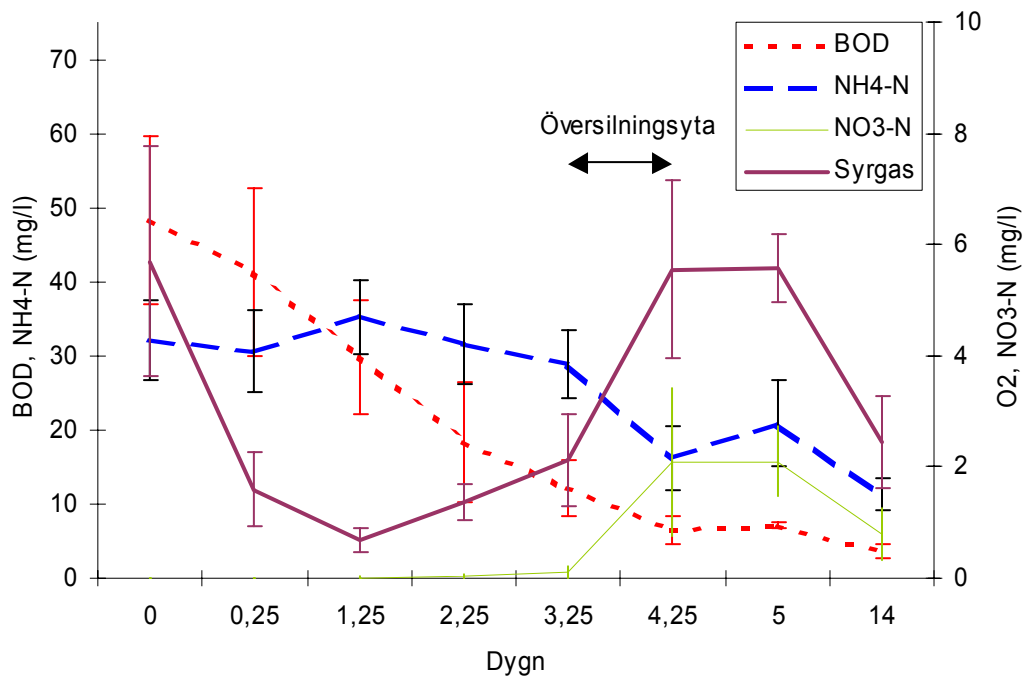


Fig. 13. Halter av ammonium- och nitratkväve, BOD₇ och syrgas vid fyra funktionskontrollperioder under perioden augusti 2000-december 2001. Vertikala felstaplar visar standardavvikelsen.

Mer att läsa

af Petersens, E. 1999. Översilning som metod för kväverening av avloppsvatten - en studie av Våtmark Alhagen i Nynäshamn. Examensarbete 33. Avd. för Vattenvårdslära, SLU.

Information finns även på <http://www.nynashamn.se/>

Jämförande diskussion

Förmågan att avskilja kväve, fosfor, organiskt material och smittämnen från vattenfasen har visat sig generellt god för Magle, Ekeby, Oxelösund och Alhagen, men det finns samtidigt en tydlig skillnad i reningsförmåga mellan våtmarkerna. Då de fyra anläggningarna skiljer sig åt i fråga om utformning, beskickning och innehåll av näringsämnen och organiskt material i det vatten som tillförs, blir en direkt jämförelse mellan anläggningarna svår att göra. Genom att dels jämföra samtliga anläggningar och dels jämför anläggningarna parvis, som beskrivits tidigare, försöker vi fortsättningsvis identifiera och diskutera faktorer som kan förklara skillnaderna i reningsförmåga mellan våtmarkerna.

Kväveavskiljning

Utgående halter av totalkväve i de fyra våtmarkerna ligger på årsbasis runt eller under 15 mg/l (tabell 1), vilket också är kravet från tillsynsmyndigheterna. Den procentuella kvävereningen varierar alltifrån 23 % till 70 %. Magle och Ekeby våtmarker uppvisar en lägre procentuell kväveavskiljning men en något högre kväveavskiljning per ytenhet och år än Oxelösund och Alhagen. Det finns flera möjliga förklaringar till den högre ytavskiljningen. En kan vara att Magle och Ekeby belastas med förnitrifierat vatten, främst innehållande nitrat. En annan att de tillförs en större kvävemängd per ytenhet. Kväveavskiljning i våtmarker är till stor del beroende av kvävekoncentration, belastning och temperatur. Generellt gäller att ju högre koncentration av kväve i inkommande vatten, desto större procentuell avskiljning. Belastningen påverkar kväveavskiljningen genom att begränsa uppehållstiden då processen kan verka.

Det är vanligt att uttrycka kväveavskiljningen med en ekvation som tar hänsyn till koncentration, flödesbelastning och våtmarksyta, en s.k. första ordningens areabaserad ekvation (Kadlec och Knight 1996);

$$\frac{C_{ut}}{C_{in}} = e^{\left(-\frac{k \cdot A}{Q}\right)}$$

där C_{in} och C_{ut} är inkommande och utgående medelkoncentrationer (mg/l), A är våtmarksarean (m^2), Q är vattenflödet under en viss tidsperiod ($m^3/år$ alt. $m^3/mån$) och k är en hastighetskoefficient ($m/år$ alt. $m/mån$). Sambandet förutsätter ett stabilt vattenflöde och hastighetskoefficienten beskriver i detta fall hur snabbt kvävet avskiljs ifrån vattenfasen. Ju högre koefficienten är, desto snabbare avskiljning. Hastighetskoefficienterna är för kväveavskiljningen i Magle 7,3 $m/år$ och Oxelösund 3,7 $m/år$. Ekeby och Alhagen är endast i drift under den varma perioden på året. Om man behandlar samma tidsperioder för alla våtmarkerna (maj-okt.) vid uträkningen blir hastighetskoefficienterna för Magle 1,0 $m/mån$, för Ekeby 1,3 $m/mån$, för Oxelösund 0,37 $m/mån$ och för Alhagen 0,64 $m/mån$.

Om man jämför dessa värden får man en bättre bild av hur faktorer förutom koncentration och belastning, så som utformning, beskickning, övrig vattenkemi och vegetation, påverkar kväveomvandlingen. Ekeby visar sig vara mer effektiv än Magle och Alhagen är effektivare än Oxelösund.

Höga ammoniumhalter i förhållande till nitrathalter kan som beskrivits tidigare minska hastigheten för kväveavskiljningen. Detta kan till stor del förklara de lägre hastighetskoefficienterna hos Oxelösund och Alhagen jämfört med Magle och Ekeby. Är därtill halterna av BOD höga bör detta ytterligare påverka hastigheten negativt, eftersom det tillgängliga syret enligt studierna från Alhagen i första hand verkar åtgå för nedbrytning av organiskt material. Skillnader inom paren behöver däremot sannolikt förklaras med skillnader i utformning, beskickningsregim och vegetation.

Kvävereningen följer en tydlig säsongsdynamik i åtminstone de våtmarker som varit i drift längst och i hela år, Oxelösund och Magle. Säsongsdynamiken är egentligen ett uttryck för dynamik i vattentemperatur och produktion av vegetation i vattnet. Nitrifikations- och denitrifikationsbakterier är temperaturkänsliga och mer aktiva vid varmare temperaturer (Reddy och Patrick 1984). Wittgren och Mæhlum (1997), visade med hjälp av en regressionsmodell att kväveavskiljningen i Oxelösund var signifikant temperaturberoende. Effektiviteten av våtmarkerna under det kallare halvåret (okt-mars) verkar vara i storleksordningen 35-50 % av effekten under det varma halvåret (april-sept).

Utformningens och beskickningens betydelse

I våtmarkssystem som tillförs ammoniumrikt vatten som Oxelösund och Alhagen, där nitrifikationen verkar begränsande för kväveavskiljningen, är det av största betydelse att åstadkomma god syresättning av vattnet. I både Oxelösund och Alhagen har man observerat att tömning och fyllning av dammarna verkar resultera i en effektivare kväveavskiljning än kontinuerlig tillförsel av vatten. När luckorna ställts upp och vattnet fått passera kontinuerligt genom systemet har reduktionen snabbt minskat, sannolikt till följd av dels sämre syresättning av sediment och växtytor och dels hydraulisk kortslutning, vilket ger kortare verklig uppehållstid och sämre kontakt mellan vatten och de ytor där aktiva bakterier finns.

Skillnaden i kväveavskiljningshastighet mellan Oxelösund och Alhagen kan sannolikt delvis förklaras av den översilningsyta som finns i Alhagen. Ytan har visat sig mycket gynnsam för den syrekrävande nitrifikationen. En annan bidragande orsak till den goda kväveavskiljningen i Alhagen kan vara att stora ytor, efter ombyggnation av inloppsdammarna, är placerade nära lägsta lågvattennivå. Dammbotten är endast några decimeter under vattenytan vid tömda dammar, vilket bör gynna syreutbytet.

Magle och Ekeby är båda utformade för att fungera väl vid ett kontinuerligt flöde och med konstant fyllda dammar. Dammarnas djup och form kan påverka flödesmönstren och resultera i ett mer eller mindre bra nyttjande av den tillgängliga ytan (Persson 1999). För att sprida vattnet så bra som möjligt har Magle konstruerat öar på de grunda partierna i våtmarken och Ekeby har uppsamlingskanaler mellan de parallella systemen. Magle har ett varierande djup med djuphålor följt av grundare partier som syftar till att fastlägga fosfor genom mer syrgastillförsel. Den högre kväveavskiljningshastigheten i Ekeby skulle till viss del kunna förklaras med att de grunda partierna i Magle våtmark kan vara mindre effektiva för denitrifikation p.g.a. högre syrgaskoncentrationer.

Vegetationens betydelse

Som beskrivits tidigare spelar vegetationen sannolikt en viktig roll för främst avskiljningen av kväve. Det är dock inte vegetationens upptag av kväve som är av avgörande betydelse, utan dess funktion som påväxtyta för nitrifikationsbakterier och som kol- och energikälla för denitrifikationsbakterier. En god tillgång på påväxtytor i våtmarken, i form av levande

vegetation, dött växtmaterial och grenar, gynnar nitrifikationen. Det har studierna från Magle (Bastviken et al 2002) och Oxelösund (Eriksson och Andersson 1999) visat. Den gradvisa förbättringen av kväveavskiljningen de första fem driftsåren i Oxelösund kan ha berott på en ökande tillgång på ytor för nitrifikationsbakterier och för tillfällig ammoniuminbindning.

Studierna från Oxelösund visar också att vissa växtarter av övervattensväxter verkar kunna hämma utvecklingen av biofilmer med nitrifierande bakterier. Växtvalet verkar därför vara av betydelse för att nå optimal funktion. En god tillgång på fotosyntetiserade undervattensväxter verkar dock vara gynnsamt för nitrifikationen.

Denitrifikationen, som sköts av nedbrytande bakterier (heterotrofer) har visats öka när det finns gott om vegetation i dammarna, särskilt verkar en blandning av växter, både högproduktiva och lättnedbrytbara, gynna aktiviteten (Bachand och Horne 2000). Den högre kväveavskiljningen i Ekeby våtmark jämfört med Magle skulle därför också delvis kunna bero på att Ekeby har en mer utbredd vegetation som bidrar med mer organiskt material och därmed gynnar denitrifikationen. Vegetationstyperna skiljer sig mellan de två våtmarkerna, Magle utgörs av öppna dammar där vegetationen främst består av undervattensvegetation medan Ekeby till viss del är beväxt av övervattensvegetation. Dessutom skördas vegetationen i Magle regelbundet och växter och alger förs bort från systemet.

Mycket vegetation och organiska sediment kan alltså öka våtmarkens denitrifikationskapacitet. Det har visats i andra studier att denitrifikationen i våtmarker som tillförs nitratrikt vatten ofta är begränsade av organiskt kol (Kozub och Liehr 1999). Ackumulation av växtföna i sedimenten bör därför förbättra förutsättningarna för denitrifikation ju äldre våtmarken blir. Detta område, denitrifikationskapacitet hos olika växtarter undersöks för närvarande bl.a. av Sofia Kallner Bastviken, Linköpings universitet.

Tabell 1. Belastning, koncentration och avskiljning för kväve i de fyra våtmarkerna under driftstiden.

Kommun		Hässleholm	Eskilstuna	Nynäshamn	Oxelösund
Anläggning		Magle	Ekeby	Alhagen	Brannäs
Data från åren		1995-2001	1999-2001	1999-2001	1994-2001
Total våtyta	(ha)	20	28	28	23
Inflöde	(m ³ /dygn)	11 500	46 500	4 700	4 800
Ytbelastning	(mm/dygn)	57	155	17	21
Uppehållstid	(dygn)	7-8	6-7	14	8
Halter					
Total-N	In	20	20	37	23
(mg/l)	Ut	14	15	11	15
NH ₄ -N	In	6	5	37	17
(mg/l)	Ut	4	2	9	12
Mängder					
N-belastning	(ton/ha och år)	4,2	6,3*	1,6*	1,7
N-reduktion	(ton/ha och år)	1,2	1,5*	1,1*	0,7
K**	(m/mån)	1,0	1,3	0,6	0,4

* Årlig belastning och avskiljning är uträknat endast för driftsperioden.

** Baseras på data för driftstiden maj till oktober för att möjliggöra jämförelse.

Avskiljning av fosfor och organiskt material

För fosfor har det visat sig att halterna i utgående vatten från våtmarkerna varierar relativt lite, trots stora haltvariationer i det vatten som kommer in till våtmarkerna (tabell 2). Generellt ligger utgående halter långt under de krav som ställs av tillsynsmyndigheterna (0,5 mg/l). De

små variationer som uppmäts i utloppen, trots stora svängningar i halter i inkommande vatten, verkar spegla en ”bakgrunds nivå” av fosfor från våtmarken. Det verkar alltså som om fosfor stabiliserar sig på en naturlig nivå i våtmarken, påverkad av interna processer som läckage från sedimenten, vilket troligtvis är relativt konstant. De stora variationerna i reningsresultat mellan anläggningarna, 30-90 %, beror också framförallt på skillnader i halter i inkommande vatten.

Den process som är av störst betydelse för avskiljningen av fosfor i Oxelösund och Alhagen är sedimentation av partikelbunden fosfor. Uppföljningen av Oxelösund och även Alhagen visar att merparten av fosfor i dessa anläggningar fastläggs i våtmarkernas inloppsdelar. I Oxelösund är det konstaterat att merparten av den fastlagda fosfor föreligger i aluminiumbunden form, vilken sannolikt härstammar från reningsverkets kemiska fällning (Gunnarsson 1997). Med den utformning som både Oxelösund och Alhagen har i dag, med inledande sedimentationsbassänger avsedda att slamtömmas regelbundet, bör det därför gå att avlägsna stora delar av den fosfor som kommer in till våtmarken. Detta bör vara gynnsamt för att erhålla en lågsiktigt god fosforavskiljning i anläggningen.

Tabell 2. Belastning, koncentration och avskiljning för fosfor och BOD₇ i de fyra våtmarkerna under driftstiden.

Kommun		Hässleholm	Eskilstuna	Nynäshamn	Oxelösund
Anläggning		Magle	Ekeby	Alhagen	Brannäs
Data från åren		1995-2001	1999-2001	1999-2001	1994-2001
Total våtyta	(ha)	20	28	28	23
Inflöde	(m ³ /dygn)	11 500	46 500	4 700	4 800
Ytbelastning	(mm/dygn)	57	155	17	21
Uppehållstid	(dygn)	7-8	6-7	14	8
Halter					
Tot-P	In	0,15	0,23	0,37	0,40
	Ut	0,11	0,10	0,12	0,04
BOD ₇	In	2,4	5,2	38	22
(mg/l)	Ut	4,8	4,7	4,8	3,9
Mängder					
P-belastning	(kg/ha och år)	33	77	17	30
P-reduktion	(kg/ha och år)	10	41	12	27

BOD₇-halterna i utgående vatten från de fyra våtmarkerna uppvisar en slående likhet. I genomsnitt över åren ligger halterna mellan 3,9-4,8 mg/l. De genomsnittliga halterna i inkommande vatten uppvisar en betydligt större spridning, från 2,4 mg/l i Magle till 38 mg/l i Oxelösund. Avskiljningen av BOD i Våtmark Oxelösund uppvisade till skillnad från kväveavskiljningen inget signifikant temperaturberoende (Wittgren och Mæhlum, 1997), men vissa säsongsvariationer förekommer som en följd av hög belastning av organisk material från omgivande mark under snösmältningen. Liksom för fosfor verkar utgående halter av BOD spegla en naturlig nivå i våtmarken, påverkad snarast av interna processer än av inkommande halter. I Magle sker t.o.m. en haltökning i våtmarken.

Det bör dock påpekas att den våtmark som är belastad med de högsta halterna av organiskt material, Alhagen, också är den våtmark som har lägst ytbelastning (mängd vatten per yta och dygn). Den höga BOD-halten i inkommande vatten kräver lång uppehållstid och god syretillförsel för att få tillfredställande oxidation att äga rum. Det visar sig också i detta fall att nitrifikationen i våtmarken först tar fart sedan BOD₇-halterna är nere på en nivå kring 20 mg/l (fig. 13).

Smittskydd

Den begränsade uppföljning som gjorts avseende avskiljning av indikatororganismer i våtmarkerna visar halterna kraftigt reduceras under passagen genom dammarna. Utgående vatten från våtmarkerna innehåller generellt låga halter av de vanligaste indikatororganismerna *E. coli* -bakterier och fekala streptokocker, halter som i de allra flesta fall understiger Naturvårdsverkets norm för vatten som är otjänligt eller med tvekan tjänligt för bad. Trots att avskiljningen av mer toleranta organismer som sporbildande sulfitreducerande clostridier och virusindikatorn kolifager var mindre effektiv i studier från Oxelösund, bör smittriskerna förknippade med det vatten som släpps ut från våtmarkerna vara små.

I dag anläggs också våtmarker just i syfte att minska utsläppen av smittämnen till känsliga recipienter, så som vattendrag nära bebyggelse där renat avloppsvattnet kan utgöra en betydande del av flödet, eller vid utsläpp till grunda och dåligt omsatta brackvattenrecipienter. Så sker t.ex. i Trosa kommun i Södermanland.

Den kvarstående och viktiga frågan rör risker för smittspridning genom exponering av avloppsvattnet inom själva våtmarksområdet. Under förutsättning att åtgärder vidtagits för att undvika infiltration av förorenat avloppsvatten till grundvattentäcker, återstår två möjliga exponeringsvägar; direktexponering eller exponering via djur. I Oxelösund har risken för direkt smittspridning undersökts genom djurhållning vid våtmarken. Den enda misstänkta hälsopåverkan var påvisandet av vissa mindre vanliga inälvsparasiter hos grisar som druckit av avloppsvattnet.

De studerade våtmarksanläggningarna har alla utformats med avskärmande barriärer (staket) vid inloppen för att hindra att människor kommer i kontakt med det vatten som löper störst risk att innehålla höga koncentrationer av smittämnen. Man informerar också om smittriskerna på informationstavlor.

Samtidigt har man valt att göra andra delar av anläggningarna attraktiva för människor och djur. Vi tycker därför att det är angeläget att det satsas forskningspengar på att göra riskanalyser för spridning av smittämnen, både från våtmarksanläggningar och vid traditionell avloppshantering, likväl som för nya teknisklösningar. Forskningen bör syfta till att ta fram rekommendationer för hur anläggningar bör utformas för att säkerställa gott smittskydd.

Slutsatser

De fyra studerade våtmarkerna klarar alla en tillfredställande reduktion av kväve, fosfor och BOD. Även om det finns stora variationer för kväveavskiljning både mellan och inom åren, så finns det inga tecken på att kvävereningen skulle mattas. Det finns en tydlig årstidsvariation, med effektiv kvävereduktion på sommaren och sämre reduktion under de kallare perioderna, dock ca 35-50 % av effekten under det varma halvåret.

Kapaciteten att avskilja kväve skiljer sig åt mellan våtmarkerna. Skillnaderna kan dels förklaras med olika innehåll av näringsämnen och organiskt material i inkommande avloppsvatten. Hög andel av ammonium medför en lägre effektivitet än om vattnet till största del innehåller nitrat. Innehåller vattnet höga halter av BOD kan detta ytterligare begränsa avskiljningshastigheten för ammonium, genom att förbruka syre som krävs för nitrifikationsprocessen.

Förmågan att rena kväve skiljer sig dock även mellan våtmarker med liknade avloppsvatten och belastning. Dessa skillnader skulle kunna förklaras med olika utformning och vegetation. Växervis fyllning och tömning av vattnet i dammarna samt god tillgång på ytor i syrerika miljöer, t.ex. undervattensvegetation, har visat sig öka nitrifikationskapaciteten. Likaså verkar översilning skapa gynnsamma betingelser för denna process. I våtmarker som tar emot nitratrikt vatten är god tillgång på organiskt material (t.ex. döda växtdelar), och syrefattiga sediment antagligen det mest betydelsefulla för att uppnå en effektiv denitrifikation.

Halterna av fosfor och BOD minskar snabbt i våtmarkerna. Utgående fosfor- och BOD-halter är låga och påverkas inte av inkommande halter utan verkar spegla en bakgrunds nivå. BOD-reduktionen kommer troligtvis att fungera på lång sikt, eftersom stora mängder organiskt material åtgår för denitrifikation. Fosforreduktionen kan förväntas avta på mycket lång sikt, med rensning av inloppen förlängs dock livslängden (dvs. tiden till dess att mer omfattande regenereringsåtgärder behöver göras).

Våtmarkerna är effektiva för reduktion av smittämnen i vattenfasen. Uppföljningen visar att halterna av indikatororganismer kraftigt reduceras under passagen genom dammarna. Frågan kvarstår dock kring risk för smittspridning i själva anläggningen.

Referenser

Bachand, P. A. M. och Horne, A J. 2000. Denitrification in constructed free-water surface wetlands: II. Effects of vegetation and temperature. *Ecological engineering* 14: 17-32.

Gunnarsson, S., 1997. Upplagring av fosfor i sediment i en våtmark belastad med avloppsvatten. Seminarier och examensarbeten nr. 28, Avd. för vattenvårdslära, SLU Uppsala.

Kadlec, R. H. och Knight, R. L. 1996. *Treatment wetlands*. Lewis publisher, Boca Raton, Florida.

Kozub, D. D. och Liehr, S. K. 1999. Assessing denitrification rate limiting factors in constructed wetland receiving landfill leachate. *Water Science and Technology* 40: 75-82

Persson, J. 1999. Hydraulic efficiency in pond design. Department of hydraulics. Chalmers university of technology, Göteborg.

Reddy, K. R. och Patrick W. H. Nitrogen transformations and loss in flooded soils and sediments. *CRC Critical reviews in environmental control* 13 (4): 273-309.

Wittgren, H. B. och Mæhlum, T., 1997. Wastewater treatment wetlands in cold climates. *Water Science and Technology* 35: 45-53.



Box 47607 117 94 Stockholm

Tfn 08-506 002 00

Fax 08-506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se