

Våtmarken i Södra Stene

och andra våtmarker i Mälardalen
- uppföljning av miljömålen



Våtmarken i Södra Stene

Regionplane- och trafikkontoret (RTK) ansvarar för regionplanering, översiktlig trafikplanering och regionala utvecklingsfrågor i Stockholms län. RTK arbetar på uppdrag av Regionplane- och trafiknämnden (RTN) och tillhör Stockholms läns landsting.

RTK bidrar till Stockholmsregionens utveckling genom en utvecklingsplanering som grundas på kvalificerat underlag och som genom samverkan och kommunikation leder till en gemensam syn på regionens utveckling hos regionens aktörer. RTK och RTN ska ge förutsättningar och ta initiativ för att den övergripande visionen och planeringsinriktningen enligt gällande Regional utvecklingsplan för Stockholms län (RUF 2001) ska bli verklighet. Samtidigt pågår arbetet med att ta fram en ny regional arbetsplan (RUF 2010).

RTK bevakar systematiskt utvecklingen i regionen och omvärlden. I RTK:s rapportserie presenteras kunskapsunderlag, analyser, scenarios, kartläggningar, utvärderingar, statistik och rekommendationer för regionens utveckling. De flesta rapporter är framtagna av forskare, utredare, analytiker och konsulter på uppdrag av RTK. På www.rtk.sll.se/publikationer finns möjligheter att ladda hem digitala versioner, beställa eller prenumerera på våra rapporter.

Citera gärna innehållet i rapporten men uppge alltid källan. Även kopiering av sidor i rapporten är tillåtet förutsatt att källan anges och att spridning inte sker i kommersiellt syfte. Återgivning av bilder, foto, figurer och tabeller (digitalt eller analogt) är inte tillåtet utan särskilt medgivande.

RTK är i likhet med Stockholms läns landstings (SLL) samtliga förvaltningar miljöcertifierade enligt ISO 14001 och jobbar med ständiga förbättringar i ett särskilt Miljöprogram, femte steget. SLL:s upphandlade tryckerier möter särskilt ställda miljökrav som specificerar både tryckprocessen och tryckeriets eget miljöledningsarbete. Denna trycksak är tryckt enligt SLL:s miljökrav.

Regionplane- och trafikkontoret

Box 4414, 102 69 Stockholm
Besök Västgötagatan 2
Tfn 08-737 25 00, Fax 08-737 25 66
rtk@rtk.sll.se www.rtk.sll.se

Konsulter och författare: Sören Eriksson, HS Konsult AB, Jonas Andersson WRS Uppsala AB samt Karin Tonderski och Karin Johannesson, IFM Ekologi, Linköpings Universitet.

Omslagsfoto: Jonas Andersson, WRS Uppsala AB. Inloppet till våtmarken fotograferat vid sex tillfällen under fem år.

Foto, inlagan: Se respektive foto

Förord

Projektet "Våtmarker i odlingslandskapet – uppföljning av miljömålen" startade hösten 2003 och har letts av Hushållningssällskapet i ABCD-län i samarbete med WRS Uppsala AB, SLU, Länsstyrelsen i Stockholms län och Linköpings Universitet.

Målsättningen med projektet har varit att via provtagningar och inventeringar få bättre kunskap om växtnäringsavskiljning och biologisk mångfald i våtmarker som anläggs i odlingslandskapet. Ett annat viktigt mål har varit att sprida kunskap till alla som är intresserade av våtmarker i något sammanhang.

Projektet har finansierats med medel från Stockholms läns landsting via Regionplane- och Trafikkontorets miljöfond, samt med medel från Naturvårdsverket, Jordbruksverket, Mistra-programmet Vastra, Länsstyrelsen i Stockholms län samt Svenska staten och EU inom ramen för KULM-programmet. Stort tack för ert finansiella stöd!

Stort tack också till alla medverkande; utan er hade detta aldrig blivit av. Christer Södereng, Länsstyrelsen i Stockholms län har hjälpt oss hitta lämpliga våtmarker, Karin Tonderski och Sofia Bastviken, IFM Ekologi vid Linköpings universitet, har analyserat och modellerat växtnäringsdata, Åke Berg, Centrum för biologisk mångfald SLU, har bistått i frågor om fåglar och våtmarker, Helena Aronsson, Institutionen för mark och miljö SLU, har bidragit med kunskap om växtnäringstransporter och Bengt Wedding vid Ekologgruppen i Landskrona har varit en värdefull diskussionspartner i allt som rör provtagning och beräkningar av växtnäringsreduktion.

Följande personer har också bidragit med mycket kunskap via sina examensarbeten; Marie Karlsson, Pia Kynkäniemi, Jennie Olsson, Rebecka Österberg och Karin Johannesson, samt deras respektive handledare.

I det praktiska arbetet med installationer och underhåll har Daniel Stråe och Rickard Olofsson, WRS och Fredrik Andersson, Linköpings universitet bistått. Lars Winqvist, Trotab har hämtat prover och sett till att de levererats till laboratoriet.

Sist men inte minst, så tackar vi markägaren Göran Österberg och lantbrukaren Per-Rickard Bernström, som låtit oss använda våtmarken i Södra Stene för vår provtagning. Per-Rickard har tidvis även skött själva provtagningen och varit mycket engagerad i projektet. Tack även till Ulf Henriksson, som har anlagt våtmarken vid Svarttorp, där vi utfört slätterförsök.

Uppsala juni 2009

Sören Eriksson, HS Konsult AB
Projektledare

Jonas Andersson, WRS Uppsala AB
Projektledare

Innehåll

Förord 3

Sammanfattning 5

Inledning 6

Våtmarken i Södra Stene 8

Flora och fauna 12

Kärlväxter 12

Fåglar 13

Diskussion 15

Försök med slåtter av kaveldun 17

Ingående våtmarker 17

Metodik 19

Resultat 20

Diskussion 21

Vattenomsättning 27

Växtnäringsbelastning och avskiljning 30

Nederbörd och vattenföring 30

Vattenprovtagning och analyser 34

Halter av näringsämnen 37

Kväve 37

Fosfor 38

Avskiljning av växtnäring 40

Beräkningar 40

Källfördelning 41

Avskiljning av kväve 42

Avskiljning av fosfor 43

Sedimentundersökningar 45

Diskussion och jämförelser med andra våtmarker 48

Sammanfattande slutsatser 52

Litteratur 54

Sammanfattning

Inom ramen för projektet ”Våtmarker i odlingslandskapet – uppföljning av miljömålen” har studier genomförts av dels biologisk mångfald i våtmarker och dels våtmarkers förmåga att avskilja växtnäring (kväve och fosfor). Fokus har legat på studier av våtmarker i Mälardalen, då erfarenheter från denna region i stort sett saknats helt.

Studierna av biologisk mångfald inom projektet visar på stora nyttor med att åter skapa våtmarker i odlingslandskapet. En förvånansvärt stor artrikedom bland både fåglar och kärlväxter hittades, med flera fågelarter som annars visar en negativ, nedåtgående trend i landet. Det visade sig också att skötseln av våtmarkerna var mycket viktig för den biologiska mångfalden, då de artrikaste våtmarkerna var de som sköttes aktivt med antingen bete eller slåtter. Oskötta våtmarker som hade för tät bestånd av vass, bredkaveldun eller andra beståndsbildande arter och därmed mindre andel öppen vattenspegel var artfattigare. Det är därför väldigt viktigt att i fortsättningen fokusera mer på skötselaspekterna när man planerar och anlägger nya våtmarker i regionen. Slåtterförsöken visade tydligt att det lönar sig att aktivt bekämpa bredkaveldun, så att andra arter får mera utrymme att etablera sig.

Växtnäringsavskiljning studerades i projektvåtmarken i Södra Stene, i Södertälje kommun, där provtagning genomfördes under perioden april 2004 till och med maj 2008. Flöde och nederbörd registrerades kontinuerligt och vattenprover togs flödesproportionellt. Halter och flöden räknades om till mängder av kväve och fosfor som rann in till, respektive ut från, våtmarken (massbalansberäkning) och utifrån detta beräknades avskiljningen.

Resultaten visar att våtmarken i genomsnitt avskiljde 25 kg kväve och 3 kg fosfor per hektar våtmarksyta, vilket motsvarar 10 % respektive 18 % av inkommande mängder. Halterna av kväve i tillrinnande vatten var jämförbara med liknande avrinningsområden i Mälardalen, men låga jämfört med avrinningsområden i södra Sverige. Även fosforhalterna var jämförbara med andra data från Mälardalen, men här högre än de som uppmätts i andra områden i södra Sverige. När man jämför avskiljningen i våtmarken i Södra Stene med anlagda våtmarker i södra Sverige så är avskiljningen i Stene låg, vilket framförallt beror på att belastningen är låg (dvs. avrinningsområdet är litet i förhållande till våtmarkens yta). De sedimentundersökningar som gjorts i Södra Stene visade att merparten av den fosfor som kommer in i våtmarken är partikelbunden och sedimenterar nära inloppet. Sedimentanalyserna visade också att den totala fosformängden i det nybildade översta sedimentlagret var flera gånger större än den fosformängd som tillförts våtmarken via inloppet. Resultatet antyder att växternas upptag av fosfor från den underliggande leran, fosfor som tillförs systemet när växterna förmultnar, är av stor betydelse för den interna fosforcirkulationen och eventuellt också för reningsförmågan.

Inledning

De senaste decennierna har våtmarkers och småvattens betydelse för såväl biologisk mångfald som närsaltavskiljning uppmärksammats. Sedan slutet av 1980-talet har det också givits olika former av ekonomiskt stöd för anläggande och skötsel av våtmarker. Sedan 2001 kan markägare som vill anlägga våtmarker och småvatten få projektstöd för detta. Fram till 2007 kallades stödet *Projektstöd för utveckling av landsbygden*, och bytte därefter namn till *Miljöinvestering*. Stöd kan även utgå till skötsel av sådana marker inom ramen för miljöersättning till lantbruket.

Syftet med projekt/investeringsstödet till våtmarker är dels att öka den biologiska mångfalden i jordbrukslandskapen, och dels att öka landskapets förmåga att dämpa vattenflöden och kvarhålla näringsämnen. Avsikten är att bidra till uppfyllandet av några av Miljökvalitetsmålen bl.a. *Myllrande våtmarker*, *Levande jordbrukslandskap* och *Ingen övergödning*.

Projektet "Våtmarker i odlingslandskapet – uppföljning av miljömålen" initierades huvudsakligen av två anledningar; dels var den empiriska kunskapen om våtmarkernas effekt som växnäringsfällor i det svenska odlingslandskapet begränsad och dels fanns mycket begränsad uppföljning av anlagda våtmarker i Mälardalsregionen, både avseende växnäringsavskiljning och biologisk mångfald.

En hel del våtmarker har anlagts i Skåne och de sydvästra landskapen, men erfarenheter från Mälardalsregionen, med dess speciella förutsättningar vad gäller bl.a. jordmån, saknades i stort sett helt. I samband med de nya satsningarna i denna region var det därför av största intresse att förbättra den empiriska kunskapen om vilken växnäringsavskiljning som kan förväntas i Mälardalsvåtmarker. Vidare var det viktigt att dokumentera hur anläggningarna skall utformas och skötas för att bidra till en hög biologisk mångfald, både individuellt och i landskapet i stort. Tanken var att omsätta denna kunskap i praktiskt arbete genom att engagera och fortbilda lantbrukare, eftersom de utför den viktigaste delen av arbetet med att uppfylla miljömålen.

Projektet inleddes under hösten 2003 med inventering av en lämplig våtmark att följa upp i Stockholms län. Valet föll på våtmarken i Södra Stene i Södertälje kommun, då denna dels var relativt representativ för de våtmarker som anlagts i länet avseende storlek och avrinningsområde och dels hade tydligt definierade in- och utlopp. Våtmarken utrustades med flödesproportionell provtagningsutrustning och provtagningen kom igång under april månad 2004. Provtagning har sedan pågått till och med maj 2008.

Utvärdering av växnäringsavskiljning har fortlöpande gjorts främst via Linköpings Universitet. För noggrannare beskrivning av våtmarken, avrinningsområdet, fördelning av belastning av växnäring från skog, åkermark och enskilda avlopp, flö-

Våtmarken i Södra Stene

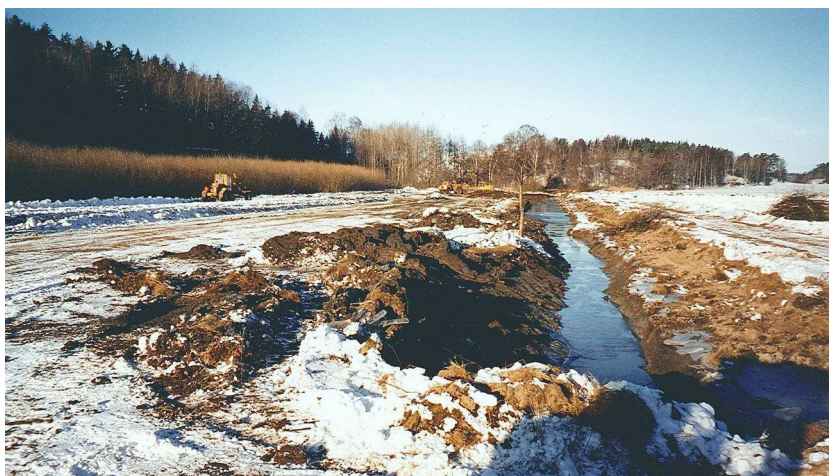
desmönster och uppehållstid i våtmarken samt sedimentstudier har under åren tre examensarbetare vid SLU och Linköpings Universitet engagerats. För studier kring biologisk mångfald har två examensarbeten genomförts vid institutionen för naturvårdsbiologi, SLU. Under åren 2005-2007 gjordes även slätterförsök i två våtmarker, varav Södra Stene var en.

Projektet slutredovisades på ett seminarium i Regionplane- och trafikkontorets lokaler i Stockholm den 22 januari 2009. Denna rapport sammanfattar den kunskap som kommit fram inom ramen för projektet. Rapporten har sin utgångspunkt i projektvåtmarken Södra Stene, men redovisar också studier från andra våtmarker i regionen. Jämförelser görs också med erfarenheter från andra regioner i Sverige. Hänvisningar görs till andra rapporter som arbetats fram i projektet, vilka går att ladda ner på: <http://www.swedenviro.se/lantbruk/projektvatmark.html>

Rapporten har författats av Sören Eriksson, HS Konsult AB, Jonas Andersson WRS Uppsala AB samt Karin Tonderski och Karin Johannesson, IFM Ekologi, Linköpings Universitet.

Våtmarken i Södra Stene

Gården Södra Stene är belägen vid sjön Sillen mellan tätorterna Gnesta och Vagnhärad, i den sydvästra delen av Södertälje kommun. På gården anlades under våren 2003 en våtmark med EU-stöd (LBU-projektstöd) och våtmarken togs i drift under hösten samma år (Figur 1 och 2). Anläggningen är ca 2,1 hektar stor och ligger i en dalgång ca 75 m uppströms Sillen (Figur 5).



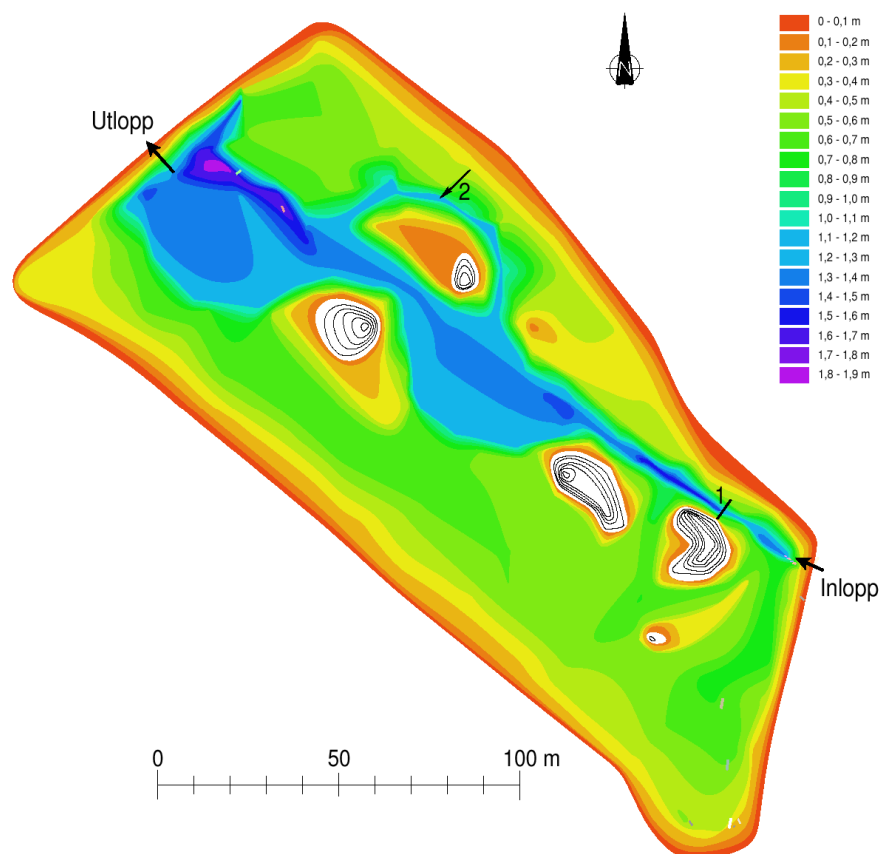
Figur 1. Våtmarken i Södra Stene är anlagd utmed ett dike strax uppströms sjön Sillen. Foto: Per-Richard Bernström.



Figur 2. Våtmarken i april 2004. I förgrunden syns provtagningsstationen vid våtmarkens inlopp. Foto: Jonas Andersson.

Våtmarken i Södra Stene

Anläggningen är i huvudsak relativt grund, 20-30 cm och är anlagd med tanke på att skapa en bra fågelvåtmark. Centralt genom våtmarken, från inlopp till utlopp, löper ett gammalt dike och utmed detta finns två djuphålor där djupet uppgår till ca 1,8 m vid högvatten (Figur 3). I anläggningen finns fyra större öar.



Figur 3. Djupprofil av våtmarken i Södra Stene. Nivåangivelser avser djup vid högvatten. Vid normalvattenstånd är djupet ca 1-2 dm lägre. I punkt 1 är en flödesavskärande presenning monterad i det gamla diket (se nedan) och i punkt 2 mynnar en dräneringsledning som leder behandlat hushållsspillvatten till våtmarken. Illustration: Jonas Andersson.

Under hösten 2005 monterades en skärmvägg (presenning) vertikalt över det gamla diket, ca 25 m efter våtmarkens inlopp (Figur 4), för att tvinga ut en större del av flödet över de grundområden som finns i våtmarkens sydvästra del. Avsikten var att förlänga uppehållstiden och förbättra reningsresultatet.

Våtmarken i Södra Stene



Figur 4. Den flödesavskärande presenningen som monterats i våtmarken i Södra Stene (våtmarken var vid fototillfället avsänkt för skötselåtgärder). Foto: Jonas Andersson.

Merparten av våtmarkens tillflöde sker via en kulverterad stamledning som avvattnar ca 80 ha mark (område 1; Figur 5). Avrinning sker också mer diffust till våtmarken, via ytavrinning och klenare dräneringsledningar, från ca 16 hektar belägna öster respektive väster om anläggningen (område 2 och 3; Figur 5).



Figur 5. Karta över avrinningsområdet till våtmarken i Södra Stene med de tre delavrinningsområdena (1-3). Område 4 utgörs av våtmarken (efter Karlsson 2005).

Våtmarken i Södra Stene

Avrinningsområdet omfattar totalt 98 ha och består förutom våtmarken av 56 ha skog, 34 ha åker samt 6 ha betes- och tomtmark. Den diffusa avrinningen sker från de områden som har en något större andel åkermark (45 %) än huvudavrinningsområdet (34 %). Våtmarken tillförs också behandlat hushållsspillvatten via en dräneringsledning som mynnar i den östra delen. Utloppet leder till ett kort dike som mynnar i Sillen.

Vegetationen domineras av bredkaveldun. Övriga arter som är vanliga är manna-gräs, stubbtåg och svalting. Även smalkaveldun, igelknopp, kärrgröe, tiggarranunkel och agnsäv finns sparsamt i våtmarken. Bland undervattens- och flytbladsväxterna dominerar vattenpilört, andmat och hornsärv. Vegetationen på grundområdena slogs av under sensommaren 2004 och 2005 och i samband med detta sänktes vattennivån tillfälligt. Detta medförde en tydligt ökad diversitet bland floran, se avsnittet om vegetationskontroll.

Våtmarken har ett rikt fågelliv med häckande gräsand, grågås, knipa och sothöna. I direkt anslutning till våtmarken häckar också sävsparv, sävsångare, tofsvipa och buskskvätta. Dessutom rastar vadare som grönbena och mosnäppa här och havsörnen jagar regelbundet över våtmarken.

Fakta Våtmarken och dess avrinningsområde

Anläggningsår: 2003

Yta: 2,1 hektar

Dammvolym, medel: 11 100 m³

Medeldjup: ca 0,5 m

Teoretisk uppehållstid, medel: 29 dygn

Avrinningsområde: 98 hektar (Fördelar sig på 57 % skog, 35 % åker, 6 % bete och tomtmark, 2 % våtmark)

Total anläggningskostnad: ca 400 000 kr

Flora och fauna

Våtmarken i Södra Stene har ingått, som en av ett stort antal våtmarker i Uppsala och Stockholms län, i studier av kärlväxter och fåglar. Studierna försökte påvisa hur ett antal faktorer som t ex strandlinjens utseende, anläggningsteknik, läge och skötselmetoden påverkade art- och individantalet. De genomfördes av två examensarbetare under 2005 (Olsson, 2005; Österberg, 2005). Kärlväxter undersöktes i 31 våtmarker på 23 gårdar under juli månad. Frekvens och i vilken del av strandlinjen arten hittades noterades för alla arter. Fågelinventering gjordes i 20 våtmarker, vid två tillfällen i varje våtmark, under maj-juni. Antal individer av varje art noterades. Alla våtmarkerna karterades även med avseende på variabler som strandlinjens längd, lutning, andel öppen vattenspegel, avstånd till skog, närmaste vatten, grävd/dämd och skötsel av markerna runtom.

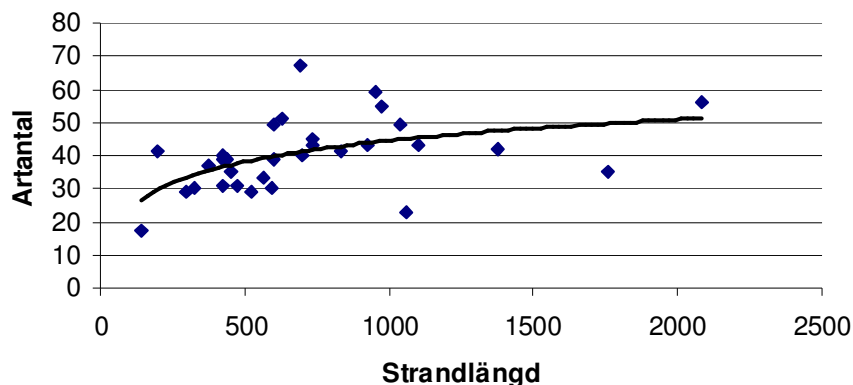
Kärlväxter

Anmärkningsvärt är att även unga våtmarker hyste många arter. De fröspridda arterna minskade med våtmarkens ålder, medan däremot mer långlivade arter och förvedade arter ökade. För alla arter räknades det ut i hur många procent av de yngre respektive de äldre våtmarkerna den förekom.

- Arter som var vanligare i äldre våtmarker (fanns i 20 % fler äldre våtmarker jämfört med yngre):
Säv, strandklo, skogssäv, videört, kärrdunört, klibbal, flask-, vass-, slok- och blåsstarr, kråklöver, kransmynta, smalkaveldun, kärrbräsma, frossört och vänderot.
- Arter som var vanligare i yngre våtmarker (fanns i 20 % fler yngre våtmarker jämfört med äldre):
Kärrkavle, vägtåg, brunskära, tiggarranunkel, mannagräs, andmat, gräsna-te, sommarlånke, kärrtistel, vattenmöja och vanlig pilört.

Antalet starrarter ökade med åldern till en början, och verkade vara flest i våtmarker mellan fem och femton år gamla. Störst täckning tycktes de dock ha i de äldre vattnen. En mycket klar skillnad fanns mellan dämda och grävda våtmarker, med fler arter i dämda vatten. En del av förklaringen kan vara att de dämda vattnen generellt var något större. Alla våtmarker över 2 hektar i undersökningen var dämda.

Artantal mot strandlängd



Figur 6. Totalt antal kärlväxter i förhållande till strandlängd i 31 anlagda våtmarker i Stockholms och Uppsala län.

Antalet arter ökade även med ökad strandlängd, vilket är naturligt då det finns chans för fler mikromiljöer då (Figur 6). Däremot påverkade inte våtmarkens area artantalet. Resultaten tyder på att flacka stränder är viktiga, det var flest arter där lutningen var 1:10-1:12. Brantare stränder gav färre men mer dominanta arter, fr.a. bredkaveldun. Olika markanvändning i den direkta närheten påverkade artantalet i den enskilda våtmarken. Flest arter fanns där det var brukad, eller på annat vis skött, mark runt omkring. Detta är dock inte ett helt pålitligt resultat, då det fanns betydligt fler våtmarker med någon öppen strandremsa runt än med skog eller bete.

Omgivningen i större skala påverkar också antalet arter. Flest arter fanns även här i våtmarker i öppnare landskap. Antal perenna arter och starrarter ökade och kortlivade arter minskade ju mer skog det var i omgivningen i större skala. Inga rödlistade arter upptäcktes vid inventeringen (Österberg, 2005).

Fåglar

En indelning av fåglarna i våtmarksberoende respektive våtmarksgynnade arter gjordes (Tabell 1). De våtmarksberoende arterna häckade i, eller i kanten av, våtmarken, medan de våtmarksgynnade fåglarna häckade i direkt närhet till våtmarken och/eller använde den för födosök.

Hela 61 olika arter sågs vid något tillfälle i eller vid våtmarkerna. Av dessa var 19 våtmarksberoende arter och ytterligare 8-9 arter sådana som kan anses gynnas av våtmarker/strandängar. Intressant att notera är att flera arter som idag minskar i landet observerades. Bland dessa fanns t.ex. smådopping, svarthakedopping, mindre strandpipare, enkelbeckasin och brunand, varav svarthakedopping och brunand är rödlistade arter (Artdatabanken, 2009).

Våtmarken i Södra Stene

Tabell 1. Resultat av fågelinventering i 20 anlagda våtmarker i Stockholms och Uppsala län under 2005. Våtmarksberoende arter häckar bara i eller i kanten av våtmarken medan våtmarksgynnade arter kan häcka i eller i närheten, samt utnyttjar våtmarken för födosök.

Observerade arter	Antal dammar arten noterades i	Antal par per damm	Snittantal par i de dammar arten fanns
Våtmarksberoende			
Gräsand	19	1-12	3,5
Knipa	18	1-5	2,5
Kanadagås	10	1-6	2,5
Enkelbeckasin	10	1-2	1,1
Sothöna	11	1-7	3
Svarthakedopping	6	1-6	2,5
Knölsvan	1	1	1
Sångsvan	4	1	1
Grågås	3	1-4	2
Kricka	7	1-3	1,2
Rörhöna	1	1	1
Smådopping	2	1	1
		1-4+20 par i 1 damm	
Skrattmåås	4		13
Vigg	2	1-8	4
Brunand	2	1	1
Mindre strandpipare	2	1	1
Fisktärna	2	1	1
Sävsångare	6	1	1
Sävspurv	6	1-3	1,5
Våtmarksgynnade			
Tofsvipa	8	1-6	3,3
Häger	5	1	1
Ängspiplärka	6	1	1
Gulärta	2	1	1
Buskskvätta	6	1	1
Fiskgjuse	2		
Ormvråk	7		
Mosnäppa	6		
Brun kärrhök	1		

Det som hade störst betydelsen för antalet fågelarter var storleken på våtmarken. Större yta gav ett större antal arter. Andra faktorer som gav positiva samband var flacka stränder och en stor andel öppen vattenspegel. Artantalet av de våtmarksberoende arterna var positivt korrelerade till våtmarkens omkrets och strandlängd mot odlad mark.

De våtmarksgynnade arterna var negativt korrelerade till täckning av vass och positivt korrelerade till andelen odlad mark inom 100 meter från strandlinjen. Återigen verkar det som våtmarkens direkta omgivning (odlad mark positiv) hade en större effekt än våtmarksstrukturen, även om vasstäckning hade en negativ effekt på antalet våtmarksgynnade arter. Vidare tycktes de våtmarksgynnade arterna påverkas mer av omgivningen i en större skala (100-500 m) än de våtmarksberoende, vilka påverkades mer av själva strandzonen.

Något som däremot inte påverkade art- och individantal var ålder på våtmarken och om den var grävd eller dämnd.

Tittar man mer på enskilda grupper av fåglar så tillkommer en del resultat. För svanar och gäss var förekomst av andra/annat vatten inom 500 m från våtmarken viktig. För dykänder ökade individantalet med storleken på våtmarken och andelen strand med flackare strandlutning. Däremot påverkade inte strandlutningen förekomsten av simänder (Olsson, 2005).

Diskussion

Vid en jämförelse med andra genomförda studier av flora och fauna i svenska våtmarker så överensstämmer resultaten i de ovan redovisade studierna ganska bra (Ekologgruppen 2000,2001). Ju större våtmark desto bättre, vilket fågelinventeringen visade tydligt. Det kan förklaras med att en större våtmarksyta nästan alltid ger flera olika livsmiljöer och nischer, vilket gör att fler arter kan få plats och trivas.

Växtinventeringen visade dock inte detta samband, utan här var det strandlinjens längd som avgjorde. Det är kanske inte så oväntat eftersom det är just i strandlinjen den största artrikedomen förekommer på grund av att det där finns ett stort antal olika livsmiljöer. I djupare delar av våtmarken är antalet växter betydligt färre.

Att våtmarkens ålder inte påverkade antalet fågelarter var oväntat. Allmänt så brukar man säga att unga våtmarker ofta är bättre för fåglar och vartefter de växer igen så försämrar miljön för fåglarna. Att så inte var fallet i vår studie visar att även äldre våtmarker kan vara artrika på fågel. Däremot var större utbredning av bladvass negativt även i denna studie vilket visar vikten av att sköta om våtmarken och kontrollera igenväxningen. Att det är viktigt att hindra igenväxningen visade också resultaten av växtinventeringen, då våtmarker med brukade/skötta omgivningar hade ett högre antal arter av kärlväxter.

För kärlväxterna var våtmarkens ålder helt klart av betydelse och resultaten visade en klar förändring från lättspridda, kortlivade arter i unga våtmarker till större, perenna arter i äldre våtmarker. Däremot var artantalet lika. Ser man till naturvårdsnyttan (vilka arter som är intressantast ur ett bevarandeperspektiv), så var andelen "allmänna" arter större i unga våtmarker. Där fanns en hög andel ruderväxter som etablerar sig snabbt i nya miljöer. Andelen förvedade växter ökade tydligt med åldern. En annan studie från Mälardalen visade att äldre våtmarker fick ett lägre antal arter, vilket där förklarades med att de lättspridda arterna konkurreras

ut av de som arter etablerar sig senare (Fjäder, 2008). Även då beståndsbildande arter som bredkaveldun breder ut sig kan artantalet sjunka med ökande ålder på våtmarken.

Både för kärlväxter och fåglar så hyste våtmarker i öppna lägen fler arter, och det var positivt om omgivande marker var brukade, antingen som åker eller vall. Slätter av kanterna eller bete runtom våtmarken gör också nytta.

Flacka stränder är också något som är positivt för både fåglar och kärlväxter. Strandängar med en lutning på 1:10-1:12 hade högst antal kärlväxter, ofta med intressanta fröproducerande arter som även fåglar drar nytta av.

Fakta **Kärlväxter och fåglar i våtmarker**

Våtmarker har stor betydelse för många fåglar och växter och får snabbt en hög artrikedom. Redan efter två till tre år är artantalet förvånansvärt högt. Även flera minskande och rödlistade fågelarter hittades i de undersökta våtmarkerna. För fåglarna är storleken det som har störst betydelse, då större våtmarker hyser fler arter. Flacka stränder och lång strandlinje är också positivt för både fåglar och kärlväxter.

Våtmarkerna bör ligga öppet i landskapet, och det är bra om omgivande marker brukas. Slätter av kantzoner eller bete runtom gör också nytta för mångfalden. Att skötseln är viktig visar också det faktum att för mycket täckning av vass var negativt för fåglarna. Låt därför inte våtmarken växa igen.

Läs mer:

Matilda Fjäder. 2008. *Anlagda våtmarker i odlingslandskapet - hur påverkas kärlväxternas diversitet?* Daphne 19:2 2008.

Rebecka Österberg. 2005. *Kärlväxter i anlagda småvatten*. Examensarbete 20 p, Nr 150, Institutionen för naturvårdsbiologi, SLU Uppsala.

Jennie Olsson. 2005. *Fåglar i anlagda småvatten*. Examensarbete 20 p. Prel. version (opublicerat). Institutionen för naturvårdsbiologi, SLU Uppsala.

Ekologgruppen. 2001. *Biologisk mångfald i dammar. Fåglar. Undersökning av 51 nyanlagda dammar 1994-2000*.

Ekologgruppen. 2000. *Biologisk mångfald i dammar. Vegetation. Undersökning av 26 nyanlagda dammar hösten 1998*.

Försök med slätter av kaveldun

Nyanlagda våtmarker växer ofta igen med täta bestånd av framför allt bredkaveldun. Även andra beståndsbildande arter som bladvass och jättegröe kan etablera sig snabbt. Extra besvärligt blir det om våtmarken är grund och kraftigt näringsbelastad, vilket många våtmarker som anläggs idag är. Blir det för tätt med bredkaveldun, minskar utbredningen av övriga växter och insekts- och fågellivet blir snabbt utarmat.

För att undersöka om upprepad avslagning av vegetationen kan minska utbredningen av bredkaveldun och ge andra arter mer utrymme så utökades projektet 2005 med praktiska slätterförsök i två våtmarker. Försöken har jämfört olika klippningstidpunkter och intensitet för att se huruvida man kan få bukt med konkurrensstarka, beståndsbildande växter, som ofta tar överhanden i våtmarker. I våra försök har vi fokuserat på bredkaveldun, som är en extra besvärlig art i Mälardalen. Inte minst är våtmarken i Södra Stene drabbad av detta problem, och den blev redan under första-andra året täckt med bredkaveldun. Våtmarken är grund, vilket ökar problemen med bredkaveldun.

Ingående våtmarker

Försök har gjorts i två våtmarker, våtmarken i Södra Stene och våtmarken i Svarttorp, cirka en mil från Södra Stene.

Beskrivning av våtmarkerna

Södra Stene, se ovan. År 2004 var första året som våtmarken var vattenfylld och en kraftig tillväxt av bredkaveldun noterades redan då. Våtmarken torrlades under sensommaren/hösten 2004 och 2005 och slogs över hela ytan (Figur 7). Under 2006 och 2007 skedde ingen avsiktlig torrläggning och avslagning, då bedömningen gjordes att beståndet av kaveldun inte var så tätt att det var nödvändigt. Däremot sjönk vattennivån båda åren så att provrutorna i stort sett torrlades en period under juli-augusti. Orsaken till detta var ganska torra somrar, samt ett litet läckage av vatten vid utloppet 2006.



Figur 7. Traktorslätter sker vissa år på merparten av arealen i Södra Stene. Slåttern ger effekt både i form av körsador och att kaveldunen utarmas på näring genom upprepad slätter, vilket hämmar återväxten. Foto: Jonas Andersson.

Svarttorp, är cirka 2,4 hektar stor och anlades 2002. Tillrinningsområdet utgörs huvudsakligen av skogsmark. Våtmarken kantas av skog, förutom på ena sidan där en mindre grusväg går förbi och ett par bostadshus ligger. Även här fick bredkaveldunen fäste första året, och 2005 täckte den stora ytor. De centrala delarna är lite djupare med öppet vatten, men på de grundare partierna bildade kaveldunen täta bestånd (Figur 8). Stora delar av våtmarken var ursprungligen grundare än 0,5 m, vilket är ett lämpligt vattendjup för bredkaveldun. Under 2005 höjdes vattennivån med cirka 2-3 dm, och denna vattennivå behölls under 2006. År 2007 sänktes vattennivån ned igen till sin ursprungliga nivå. Trots torra somrar har vattennivån hållits relativt konstant, tack vare en bra tillrinning. Den höjda vattennivån har gett en tydlig effekt på kaveldunets tillväxt, och under 2007 var beståndet betydligt gle sare än startåret 2005.



Figur 8. Vy över våtmarken i Svarttorp, juni 2006. Foto: Sören Eriksson.

Metodik

Klippning skedde för hand i 25 provrutor om 30-49 m², antingen 0, 1, 2, eller 3 gånger per säsong (Figur 9). Vegetationen klipptes av strax under vattenytan. Djupet där provrutorna placerades var mellan 25 och 50 cm. Vegetationen klipptes både 2005 och 2006 och åtgärden följdes upp med inventeringar 2005, 2006 och 2007, innan försöken summerades ihop.

Tidpunkter för de olika klippningarna:

- A= Klippning kring midsommar
- B= Klippning i mitten av juli
- C= Klippning i mitten av augusti

De fem försöksleden (med fem provrutor per behandling) bestod av:

- | | |
|--|-----|
| 1. 1 klippning vid tidpunkt B | B |
| 2. 1 klippning vid tidpunkt C | C |
| 3. 2 klippningar vid tidpunkterna B och C | BC |
| 4. 3 klippningar vid tidpunkterna A, B och C | ABC |
| 5. Oklippt kontroll | O |

Följande variabler mättes vid klippningstillfällena:

- Vattendjup
- Antalet skott av kaveldun, täckningsgrad och medelhöjd av bestånden
- Antal blommande kolvar av kaveldun
- Övriga kärlväxters procentuella täckningsgrader (även flytblads- och undervattensväxter)

Mätningarna gjordes i en yta om 2 x 2 meter som placerats ut mitt i varje provruta, och sedan räknades värdena upp beroende på hur många kvadratmeter rutorna var. En fotodokumentation gjordes från fasta fotopunkter, för att följa utvecklingen under säsongerna.

Då försöket började 2005 fanns inga mätbara skillnader mellan de olika leden, därför kan statistik räknas enbart på skillnader mellan 2007 års värden. All statistisk bearbetning har skett med variansanalys (Anova - Duncans Multiple-Comparison Test).



Figur 9. Provrutor för slätter i våtmarken i Södra Stene vid torrläggning 2005. Foto: Sören Eriksson.

Resultat

Täckningsgraden minskade och övriga arter påverkades positivt

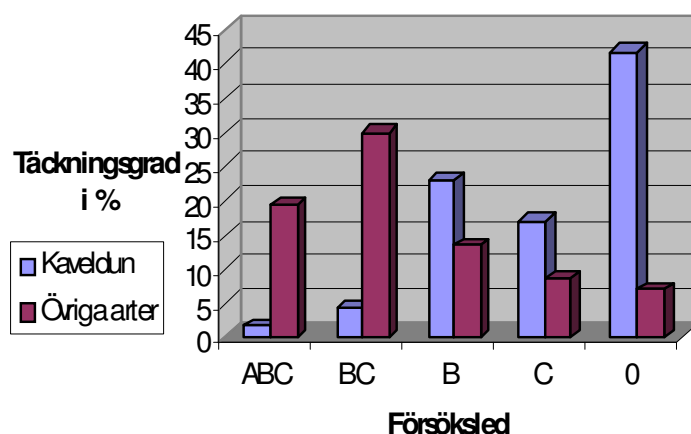
I alla klippta led minskade täckningsgraden av bredkaveldun (Figur 10). Minskningen blev ännu större med två eller flera klippningar per år. Däremot syntes inga skillnader mellan två och tre klippningar per år. Övriga arter visade en tendens att öka så att de fick högre täckningsgrad då rutorna klipptes. Högst täckningsgrad av övriga arter uppnåddes med två klippningar. Därefter minskade täckningsgraden igen. Antalet övriga arter var däremot inte fler i klippta rutor än i oklippta. Antalet arter utöver bredkaveldun varierade kraftigt (från en till åtta). Av dessa var manngräs, svalting, stubbtåg och gäddnate de vanligaste arterna, vilka var de enda som ensamma nådde över 10 % i täckningsgrad.

Antalet plantor minskade bara efter två eller fler klippningar per år

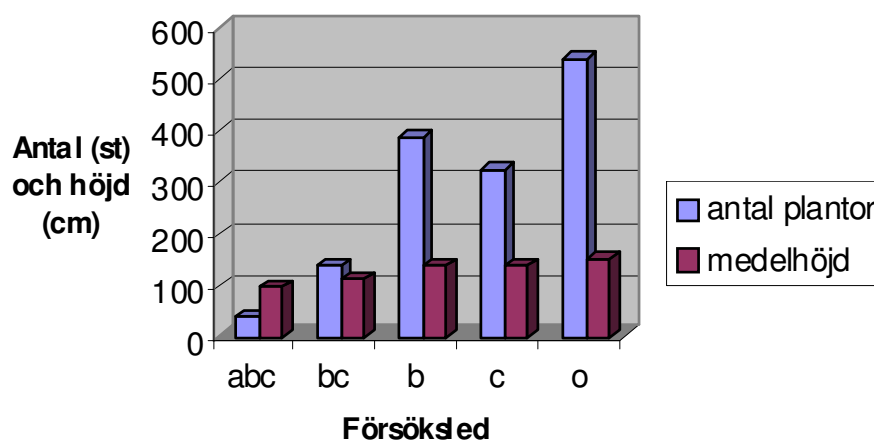
Resultaten visade att det krävdes upprepade klippningar för att få en tydlig effekt på antalet kaveldunplantor (Figur 11). En klippning är ofta inte tillräcklig, och antalet plantor kan till och med öka trots klippningen.

Kraftig minskning av blommande kolvar

Som ett mått på kaveldunens livskraft, och spridningsförmåga, kan också antalet blommande kolvar fungera. I alla klippta led minskade antalet kolvar jämfört med kontrollen. Noterbart är att i hälften av de klippta rutorna fanns inga blommande kolvar alls.



Figur 10. Skillnader i täckningsgrad av bredkaveldun och övriga kärlväxter i de olika försöksleden i juli 2007. Vid försökets början fanns inga mätbara skillnader alls mellan leden.



Figur 11. Antalet plantor av bredkaveldun samt medelhöjden av plantorna i juli 2007.

Ingen mätbar effekt av olika tidpunkter för klippning

Vid en jämförelse mellan tidpunkten för endast en klippning per år, så hade klippningen i augusti konsekvent minst antal plantor, blomkolvar, lägst medelhöjd och täckningsgrad, men inga skillnader var signifikanta. Juni- och juliklippningarna gav i stort sett likadana resultat.

Diskussion

Försöken visade att klippning ger en påverkan på täta bestånd av bredkaveldun. Tydligast var effekten på täckningsgrad och antalet blomkolvar. Redan en klippning gav mätbara resultat. För att få ner antalet plantor räcker det dock inte med en klippning per år, beroende på kaveldunets förmåga att skjuta nya skott och dess snabba tillväxttakt. Bredkaveldun lagrar under tillväxtsången energi i underjordiska stjämlar, s.k. rhizom. Klippning gör att rot- och rhizomsystemet utarmas så att

plantorna blir mindre och inte orkar växa lika kraftigt. Detta syntes i försöken där antalet plantor inte minskade trots att täckningsgraden gick ned. Plantorna i de klippta ytorna var dock mindre med färre antal blad. Täckningsgraden kan således fungera som en minst lika viktig parameter för uppföljning som antalet plantor, då det är täckningsgraden som bestämmer hur mycket plats och solljus övriga arter får. Effekten av klippningen påverkas också av andra faktorer som medelvattendjup, förändringar i vattennivån under säsongen och artsammansättningen, vilket diskuteras nedan.

En eller flera klippningar

Årlig klippning gör inte att bredekaveldunet försvinner helt, men det gör att övriga kärlväxter får mer utrymme att expandera. På så sätt kan det fungera väl som en löpande skötselmetod, och räcka för att hålla bestånden i schack. Dessutom slipper man kvarstående fjolårsstänger som skuggar marken och höjer täckningsgraden ytterligare. Man får heller inte lika många blommande kolvar, vilket minskar vindspredningen till närliggande våtmarker.

Vill man få till stånd en kraftigare effekt på kaveldunet måste upprepade klippningar genomföras under minst en, gärna två säsonger. I försöket resulterade upprepade klippningar under två säsonger i att det i två av försöksrutorna i Svarttorp inte fanns en enda kaveldunsplanta kvar. I genomsnitt var antalet plantor i rutorna som klipptes mindre än en fjärdedel jämfört med de oklippta rutorna. Med tre klippningar så var denna andel ännu lägre, mindre än en tiondel. Täckningsgraden av kaveldun kom översteg inte 10 % i någon enskild ruta som klipptes två eller tre gånger per år. Det visar att metoden mycket väl kan vara en metod att rekommendera vid restaureringar av våtmarker som är kraftigt igenväxta.

Lämplig tidpunkt

Tidpunkten för klippning verkar inte ha så stor betydelse. En antydning finns dock till att klippning sent på sommaren, i augusti, har den bästa effekten. Tydligast syntes detta på antalet blomkolvar, som var betydligt lägre med sen klippning. Dessutom kan en tidig klippning redan vid midsommar lätt förstöra bon för häckande fåglar. I försöksdammarna upptäcktes t.ex. ett bo med ägg av smådopping första året (Figur 12). Knipa, sothöna och svarthakedopping hade då också precis nykläckta ungar.



Figur 12. Smådoppingbo i Svarttorpsdammen. Foto: Sören Eriksson.

Störst ökning av andra växtarter på grundare partier

Den största ökningen av övriga arter kunde ses i de grunda partierna i våtmarken i Stene, där mannagräs, stubbtåg och svalting gynnades av en till två klippningar och ökade kraftigt (Figur 13). Smalkaveldun, igelknopp, kärrgröe, tiggarranunkel och agnsäv visade också ökande tendenser här, men blev aldrig lika dominerande. Våtmarken i Svarttorp hade redan från början en annorlunda artsammansättning, och här etablerade sig inte alls lika många nya arter under försökets gång. En förklaring till detta är att vattennivån i denna våtmark aldrig sänktes under 25 cm, vilket försvårade nyetablering av växter. När utbredningen av kaveldun minskade ökade istället undervattensvegetation som rostnate, slingor och källgräs (Figur 14). Även i alla försöksrutorna i Södra Stene var undervattensväxter som vattenpilört, andmat och hornsärv allmänna.

Reglering av vattennivån betydelsefull

Effekterna av klippning verkade påverkas av våtmarkens vattenregim. I Svarttorp, där vattennivån aldrig sjunkit under 25 cm, skedde en väldigt begränsad nyetablering av växter. Detta gällde såväl bredkaveldun som andra arter. Samtidigt så minskade antalet kaveldunsplanter kraftigare här än i Stene. I Svarttorp medförde en klippning att antalet planter minskade i motsats till i Södra Stene. Det tyder på att kaveldunen försvagades mer om de klipptes under en vattenyta som hölls konstant.

Till skillnad från i Svarttorp, så ökade antalet planter i flera av rutorna i Stene mellan åren 2006 och 2007, trots klippningen. Vattennivån var under hela sommaren 2006 ovanligt låg, och under en mer än en månads tid så var två av tre försöksled i stort sett torrlagda. Det var också i dessa två led som antalet planter ökade. Det verkar alltså som om en kraftig sänkning av vattennivån motverkar klippningens effekter. Samtidigt ökar risken för nyetablering av frösådda planter under perioden då våtmarken är torrlagd. Det är därför viktigt att inte låta vattennivån sjunka för mycket i en våtmark, förutom då det behövs för att göra olika skötselinsatser. Vill man låta djur beta våtmarken kan det vara bra att sänka nivån så att de lättare

kommer ut i våtmarken. Givetvis måste man också torrlägga då man ska klippa av vegetationen för att få bärighet för traktorn.

Sammanfattningsvis så tycks återväxten hos kaveldun variera kraftigt beroende på vattennivån (indirekt alltså vädret och nederbördsmängden) under sommaren. Sjunker vattennivån, så att ytan i stort sett torrläggs under högsommaren, verkar tillväxten gynnas. På djupare delar och i den våtmark där vattennivån hölls konstant under säsongen blev inte återväxten lika markant. Det verkar som om kaveldun försvagas mer om de klipps av under vattenytan och av att de avklippta plantorna sedan behålls vattentäckta. Det bästa verkar alltså vara att klippa av kaveldun utan att sänka av vattenytan, vilket kräver specialmaskiner som de flesta idag inte har. I normalfallet, när våtmarken torrläggs och klipps med traktorkopplat slätteraggregat, är det alltså bra att snabbt få tillbaks en hög vattennivå.

En intressant observation innan försöken startade var att man såg tydligt hur traktorspåren gått där klippningen skedde under år 2005 i Södra Stenes våtmark. Det växte inget eller väldigt lite kaveldun just där. Det kan vara så att rötterna påverkats negativt av det marktryck som bildats av traktorn.

Skötsel viktigast i grunda delar av våtmarker

Grunda våtmarker behöver skötas för att gynna biologisk mångfald. Våra resultat tyder på att det finns störst behov av klippning (eller annan skötsel) i grunda våtmarker eller i grunda delar av våtmarker. Anledningen är dels att här är problemen med igenväxning som störst, och dels att det är i de grunda delarna som andra arter svarar mest positivt på skötseln.

Kaveldun har även positiva effekter

Att ha mycket vegetation i en våtmark är ofta bra ur ett växtnäringssperspektiv. Vegetationen fungerar som ett mekaniskt filter och som påväxtyta för de bakterier som avskiljer kväve. Kaveldun är också en bra kol- och energikälla för dessa bakterier. I en så lågbelastad våtmark som Södra Stene är det inte troligt att tillgången på energi och kol är den faktor som begränsar kväveavskiljningen. Förmodligen kan de övervattensväxter som gynnas av kaveldunens tillbakagång fylla samma funktion vad gäller avskiljning av näringsämnen i denna typ av våtmark.



Figur 13. ABC-ruta i Södra Stene i juli 2005 och i juli 2007. Även om inte bilderna är direkt jämförbara, på grund av klippningarna 2005, så ger det en tydlig bild av svaltingens ökning till år 2007. Foto: Sören Eriksson.



Figur 14. Svarttorp, C-ruta 2005 innan klippning i augusti och i augusti 2007. Här har beståndet minskat mycket kraftigt trots "bara" en klippning. Istället har gäddnate och smalkaveldun etablerat sig. Det här visar tydligt hur effektivt det är att klippa av växterna under en permanent vattenyta. Foto: Sören Eriksson.

Fakta **Läs mer om slåtterförsöken**

Sören Eriksson. 2007. *Slutrapport. Delprojekt - bekämpning av igenväxningsvegetation, framför allt kaveldun, vid nyanlagda våtmarker i odlingslandskapet.* Hushållningsällskapet.

Fakta Skötselråd till våtmarksägare

Det är viktigt med regelbunden skötsel i grunda våtmarker. De är, rätt skötta, de artrikaste av anlagda våtmarker, med flest antal kärlväxter. Många av dessa är bra fröproducenter vars frö t.ex. simänder äter. En varierad flora ger också förutsättningar för ett rikt insektsliv. Grunda våtmarker blir också snabbt varma på försommaren vilket gynnar groddjur.

Det är viktigt att vara på plats med skötseln redan innan igenväxningen gått för långt. Många har blivit förvånade då det redan ett par-tre år efter anläggandet av sin våtmark är ett tätt ogenomträngligt hav av kaveldun.

Är man med direkt med skötseln räcker avslagning en gång per år eller ett bra betetryck långt. Om man ska slå en gång under sommaren, slå gärna sent på sommaren, under augusti. Då hinner inte kaveldunet återväxa och lagra ned så stora mängder energi i sina underjordiska stjälkar inför nästa år, som vid tidigare klippning.

Det allra bästa är att klippa våtmarken utan att torrlägga den, med det kräver specialmaskiner som båtkopplade slätteraggregat eller amfibiegående arbetsfordon. Klippas plantorna av under ytan verkar återväxtförmågan försämrats. I våtmarken där vattennivån hölls konstant minskade antalet plantor även med en klippning.

Om man inte kan/vill torrlägga hela våtmarken för att slå vegetationen, bör man i alla fall sänka vattennivån så pass att man kan slå de grunda delarna av våtmarken.

Om våtmarken behöver torrläggas är det bra om den torrlagda perioden blir så kort som möjligt, d.v.s. tömning och påfyllning går fort. Då blir perioden då bar jord blottläggs och nyetablering av fröspridda kaveldun kan ske så kort som möjligt. Det här är faktorer som för redan anlagda våtmarker är svåra att påverka, men är viktiga att tänka på i planeringen av nya våtmarker.

Vill man snabbt öppna upp en igenväxt våtmark är det nödvändigt att klippa upprepade gånger under sommarhalvåret. Det räcker inte att bara klippa en gång per år i dessa fall. Två-tre gånger per år ger mycket större effekt än om man bara klipper en gång.

Som ett alternativ till att klippa, kan höjning av vattenståndet fungera bra. En hel säsong plus vintrarna före och efter har synbart reducerat den totala mängden kaveldun i våtmarken i Svarttorp. Det kan mycket väl vara så att den här skötselmetoden är minst lika effektiv som att klippa vegetationen. En klippning som följs av ett högt vattenstånd skulle mycket väl kunna vara en effektiv kombination.

Slätter med växtupptagning tar bort större mängd växtnäring ur våtmarken och minskar problemen med syrebrist på bottenarna.

Vattenomsättning

Våtmarkens utformning påverkar i hög grad reningseffektiviteten. Centralt genom våtmarken i Södra Stene, från inlopp till utlopp, löper ett gammalt dike (se Figur 3). Merparten av vattnet kan antas ta sig genom våtmarken via denna djupare raka kanal och kommer aldrig i kontakt med de stora vegetationstäckta ytorna. Våtmarkens effektiva yta minskar därför avsevärt. Under hösten 2005 monterades en skärmvägg (presenning) vertikalt över det gamla diket, ca 25 m efter våtmarkens inlopp (se Figur 4), för att tvinga ut en större del av flödet över de grundområden som finns i våtmarkens sydvästra del. Avsikten var att förlänga uppehållstiden och förbättra reningsresultatet.

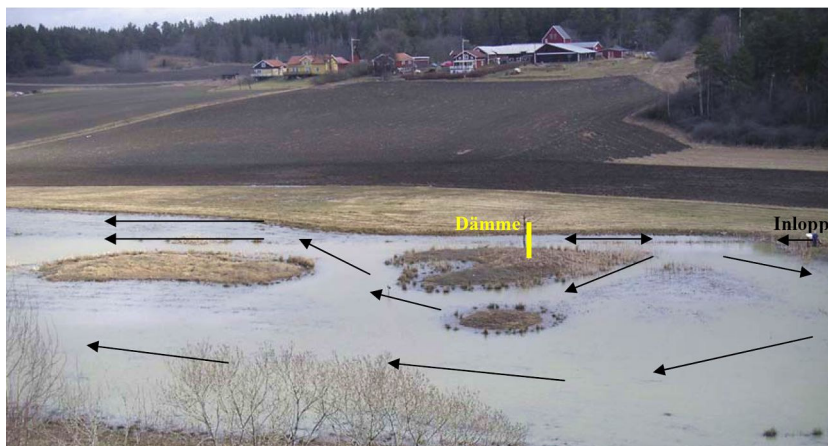
För att undersöka våtmarkens hydrauliska effektivitet, dvs. hur väl vattnet sprids i våtmarken, så gjordes spårämnesstudier under våren 2006 inom ramen för ett examensarbete vid SLU (Kynkäänniemi 2006).

I april 2006 tillsattes ett kraftigt grönt men ofarligt färgämne, uranin, i inloppet och färgens spridning i våtmarken fotograferades timme för timme. Försöket visade att vattnet som rann in i våtmarken snabbt rörde sig i diket fram till skärmen, där flödet bromsades upp och vattnet tvingades ut över våtmarkens grundområden. Skärmen hade uppenbarligen en mycket god effekt. Man såg också att vinden påverkade vattnets spridning påtagligt i de grundare delarna.



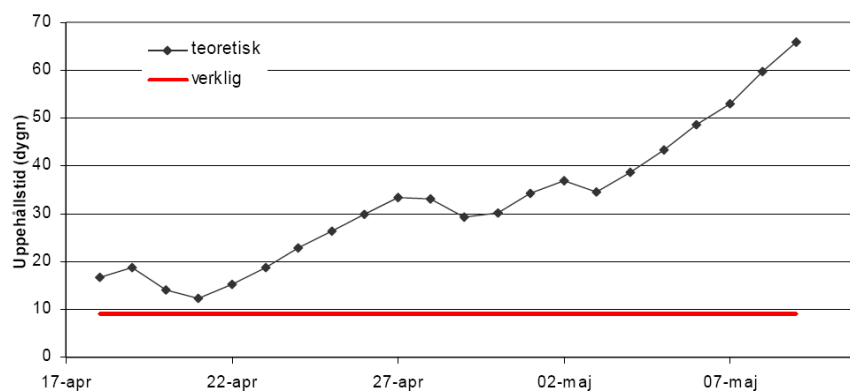
Figur 15. Det gröna spårämnet uranin följer vattnet fram till skärmen (placerad mitt för knipholken). Foto: Pia Kynkäänniemi.

Våtmarken i Södra Stene



Figur 16. Vattnets möjliga flödesvägar i Stene våtmarks övre del samt dämmets och inloppets placering. Foto: Pia Kynkäänniemi.

Som komplement till färgundersökningarna tillsattes ett kemiskt spårämne, jodid. Genom att mäta koncentrationen av spårämnet vid utloppet under några veckors tid efter att det tillsatts kunde vattnets genomsnittliga uppehållstid bestämmas. Försöket resulterade i en medeluppehållstid i våtmarken på 9 dygn, att jämföra med den nominella uppehållstiden (alltså den teoretiska uppehållstid som beräknas genom att våtmarkens volym divideras med inflödet per dygn) som var 33 dygn. Försöket gjordes under vårfloden och med tanke på detta får uppehållstiden anses som god. Utan skärmen hade uppehållstiden varit betydligt kortare och reningsprocesserna fått mindre tid att verka. Enkla förbättringar som denna kan i många fall bidra till en ökad växtnäringsavskiljning.



Figur 17. Den teoretiska uppehållstiden under spårämnetsförsöket i våtmarken i Södra Stene utifrån variationen i inflöde under perioden 18 april-2 maj 2006, samt den verkliga uppehållstiden beräknad utifrån spårämnetsstudien. Efter Kynkäänniemi 2006.

Fakta **Vattnets uppehållstid i våtmarken**

Den teoretiska tid det tar för vattnet att färdas genom våtmarken kallas *nominell uppehållstid*. Den beräknas genom att dividera våtmarkens totala volym med inflödet och förutsätter att vattnet rör sig i en jämn front genom våtmarken, så kallat kolvflöde. Den nominella uppehållstiden i Södra Stene har vid medelvattnenföring varit ca 29 dygn.

Den *verkliga uppehållstiden* påverkas bl.a. av våtmarkens form, bottenstruktur och vegetation.

Hydraulisk effektivitet är ett mått på förmågan att fördela flödet jämnt över hela volymen, det vill säga hur stor del av våtmarken som utnyttjas för rening. Den hydrauliska effektiviteten får man genom att dela den verkliga uppehållstiden med den nominella.

I försöket i Södra Stene var den hydrauliska effektiviteten 27 % under vårflödet, dvs. knappt en tredjedel av våtmarkens volym utnyttjades effektivt. Utan den flödesavskärande skärm som monterats i våtmarkens inloppsdel, så hade antagligen effektiviteten varit betydligt lägre.

Läs mer: Pia Kynkäänniemi. 2006. *Reningsfunktionen i en lågbelastad våtmark*. Avdelningen för vattenvårdslära, SLU Uppsala, Seminarier och examensarbeten nr. 57.

Växtnäringsbelastning och avskiljning

Nederbörd och vattenföring

I våtmarken i Södra Stene har vattenflödet registrerats fortlöpande i både in- och utlopp. Flödesmätning har pågått under perioden april 2004 – maj 2008. Inloppet utgörs av en rörledning med innerdiameter 45 cm som under normala förhållanden är helt dämnd, dvs. mynningen ligger under våtmarkens normalvattenyta (Figur 18). Flödet i ledningen har mätts med en så kallad area/hastighetsgivare. Instrumentet registrerar vattennivå med en tryckgivare och vattenhastigheten med en dopplermätare. Nivån och hastigheten mäts vardera med en noggrannhet på $\pm 2\%$ av registrerat värde. Nivå och vattenhastighet omräknas till flöde och loggas i en kombinerad flödesmätare och provtagare av typen SIGMA 900 MAX. Den lägsta hastighet som givaren klarar att registrera är 0,02 m/s (motsvarar 277 m³/dygn vid fullt inloppsrör). När hastigheten understiger detta beräknas flödet utifrån en förinställd hastighet som är satt till 0,0055 m/s (motsvarar ett flöde på 76,3 m³/d).



Figur 18. Inkommande betongledning till våtmarken. Normalt är denna helt överdämnd (vid fototillfället var våtmarken nedsänkt för slätter). En temperatur- och pH-givare samt provtagningsslangen har varit placerade rakt framför rörmynningen (bilden till vänster). På botten av trumman syns area/hastighetsgivaren (den lilla svarta dosan på den högra bilden). Foto: Jonas Andersson.

Utloppet i Södra Stene består av en brunn i vilken ett 60° triangulärt skibord har varit installerat. En tryckgivare registrerar kontinuerligt vattennivån (noggrannhet ± 7 mm) och flödet beräknas utifrån kända formler. Även här har en kombinerad flödesmätare och vattenprovtagare av typen SIGMA 900 MAX använts. Vid både in- och utlopp har data loggats med 5-minutersintervall.

Våtmarken i Södra Stene

Flödesdata saknas periodvis för både in- och utlopp, då tekniska problem uppstått eller när flödesdata inte kunnat beräknas på grund av att vattennivån varit för låg efter avsänkning av våtmarken. När inte interpolering kunnat utföras, har utloppsflödet antagits vara lika med det uppmätta inloppsflödet dividerat med faktorn 0,816. Denna faktor baseras på beräkningar utförda inom ramen för Marie Karlsons examensarbete (2005), enligt vilka inloppsstationen registrerar 81,6 % (80 ha/98 ha) av våtmarkens tillrinning.

Under november 2005 framräknades dock utloppsflödet ur våtmarkens volymmodell, då ett felaktigt inloppsflöde registrerats under denna period. Volymmodellen baseras på djupkartan (Figur 3) och beskriver våtmarkens volym vid olika vattennivåer.

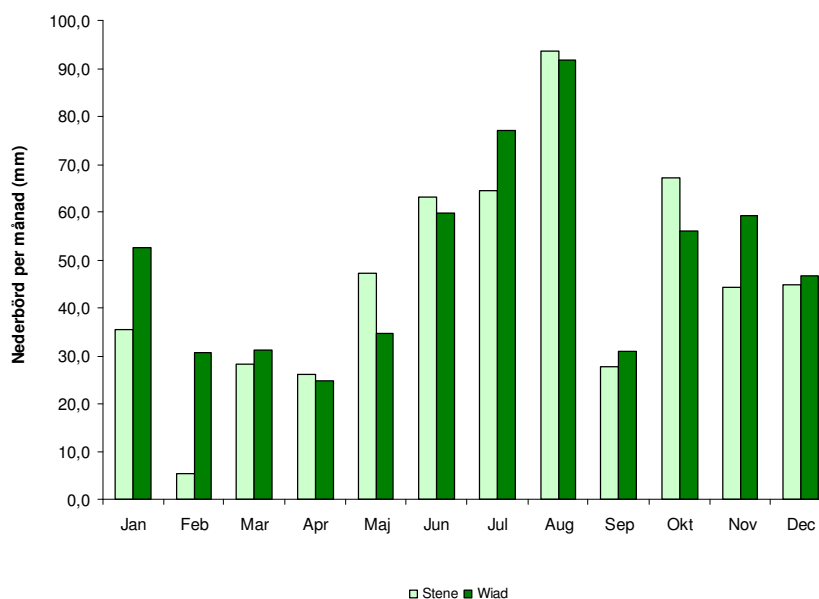


Figur 19. Till vänster det triangulära skibordet i utloppsbrunnen och till höger nederbördsmätaren som är placerad intill provtagningsutrustningen vid inloppet. Foto: Jonas Andersson.

En nederbördsmätare har också varit ansluten till mätstationen vid inloppet (Figur 19). Nederbörden mäts av ett vippkärl vars tippningar registreras i mätstationens datalogger.

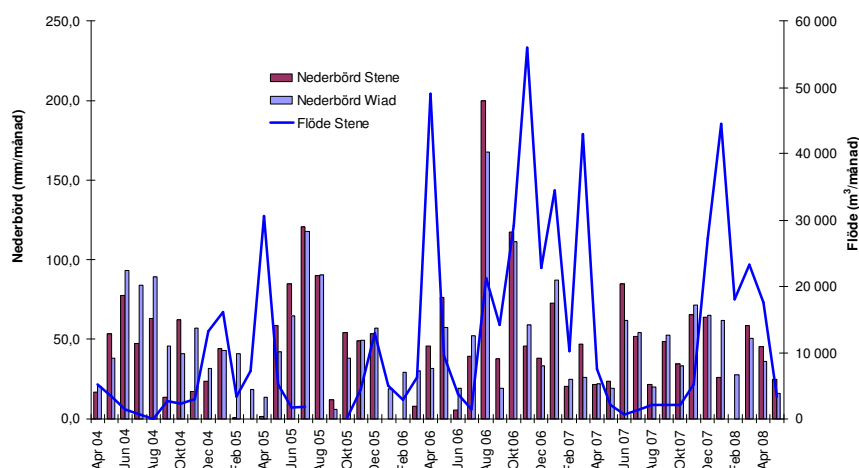
Nederbörden som registrerats i våtmarkens inloppsstation har jämförts med data från SMHI:s station Wiad, belägen drygt 2 mil nordost om Södra Stene. Figur 20 visar månadsmedelnederbörden för de två stationerna. Mätstationen i Stene har inte varit försedd med någon uppvärmning och har därför inte kunnat registrera snömängden under vintrarna (annat än vid tillfällig avsmältning). Data från Stene gäller således endast nederbörd i form av regn, vilket avspeglas i skillnaderna mellan de båda mätstationerna under vintermånaderna (januari-februari i figuren). I övrigt stämmer nederbördsdata från Stene relativt bra överens med de från Wiad, trots det geografiska avståndet mellan platserna. Medelnederbörden under perioden var 549 mm per år i Södra Stene. I Wiad var den 597 mm.

Våtmarken i Södra Stene



Figur 20. Nederbördsdata (medelvärden från 4 års tid, april 2004-mars 2008) från mätstationen i Södra Stene jämfört med SMHI:s mätstation Wiad.

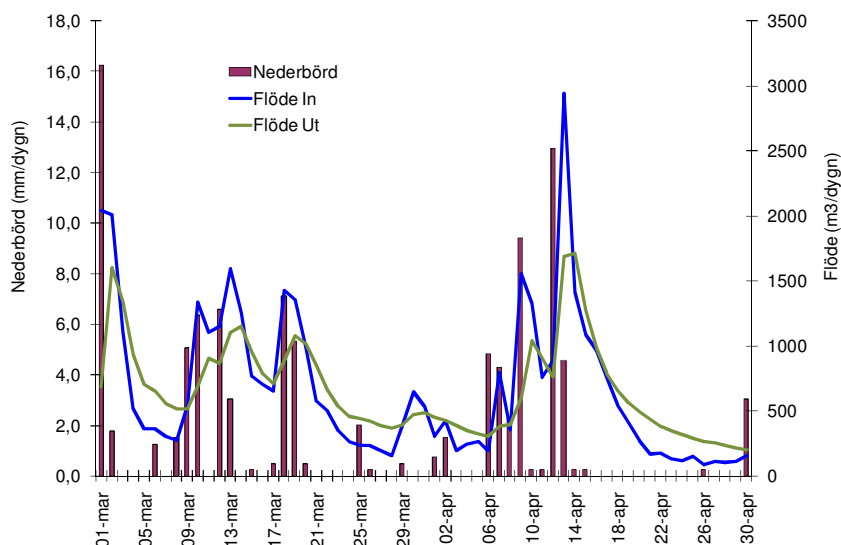
Under de drygt fyra år som flödesmätning pågått i våtmarken varierade flödet kraftigt (Figur 21). Medelflödet in till våtmarken var ca 400 m³/dygn (4,6 l/s), maxflödet ca 5800 m³/dygn (67 l/s) och minflödet nära noll. Höga flöden har framförallt förekommit i samband med snösmältning, som under flera år inträffat både under vintern och våren (2004 och 2005 skedde det både i december och i april). Hösten 2006 (år 3) var också mycket nederbördsrik och flödena var höga (över 1000 m³/dygn) under en period av ca 2 månader. Höga flöden har också förekommit i samband med kraftiga sommarregn, men har då varat under kortare perioder.



Figur 21. Månadsnederbörd och vattenflöde för våtmarken i Södra Stene, samt månadsnederbörd för SMHI:s station Wiad.

Tillflödet till våtmarken ökar snabbt till följd av nederbörd; mätdata visar att flödet ökar inom mindre än ett dygn efter större mängder regn (Figur 22). Detta har även varit tydligt från fältobservationer.

Våtmarken i Södra Stene



Figur 22. Nederbörd samt flöde in till och ut från våtmarken i Södra Stene, 1 mars-30 april 2008.

Medelavrinningen från våtmarkens 98 ha stora avrinningsområde var under mätperioden 143 mm (Tabell 2). Skillnaden mellan nederbörd och avrinning motsvarar avdunstning och grundvattenbildning. Det var stora variationer i medelavrinning mellan åren, framförallt avvek det tredje året (april 2006-mars 2007) då nederbörden var drygt 30 % högre än föregående år, medan avrinningen var hela 4-5 gånger större. En stor del av nederbörden kom år 3 vid tillfällen då marken redan var vattenmättad, vilket gjorde att avrinningen blev mycket stor.

Tabell 2. Medelavrinning och medelnederbörd från mätstationen i Stene samt SMHI:s station Wiad under de fyra år som flödesmätning pågått.

År	Avrinning (mm)	Nederbörd Stene (mm)	Nederbörd Wiad (mm)	Avrinning (%)
1	60	419	602	14%
2	72	531	557	14%
3	300	745	690	40%
4	139	500	540	28%
Medel	143	549	597	24%

Den låga årsavrinningen under det första och andra året kan förklaras av att en relativt stor del av nederbörden föll under sommarmånaderna med en högre avdunstning som följd.

Fakta Läs mer om flödesmätning

Jonas Andersson, Bengt Wedding och Karin Tonderski. 2006. *Näringsavskiljning i anlagda våtmarker, region- och metodjämförelser*. WRS Uppsala och Ekologgruppen, oktober 2006.

Vattenprovtagning och analyser

Vattenprover har tagits i våtmarkens in- och utlopp under perioden april 2004 – maj 2008, dvs. under drygt 4 års tid. Prover har tagits flödesproportionellt, vilket i praktiken innebär att de kombinerade flödesmätarna/provtagarna automatiskt tar ett vattenprov av en bestämd volym när en bestämd mängd vatten passerat (Figur 23). Den uppmätta halten av kväve och fosfor i ett veckoprov utgör då en medelhalt för den volym vatten som passerat under veckan. Provtagaren suger upp vatten med hjälp av en slangpump. Inför varje provtagning renblåses slangen med luft samt sköljs en gång med provvatten. Provvolymer och frekvensen har justerats med årstiden och den förväntade flödessituationen, för att erhålla en så stor volym som möjligt varje vecka med hänsyn till provtagningskärlets kapacitet. Provtagningsvolymer har varierat från 15 till 100 ml och provtagningsintervallet från 3 till 25 m³ passerad vattenvolym.

Vatten har samlats i 11 liters ljusskyddade platsflaskor i respektive provtagare, vilka tömms för analys en gång per vecka (normalt torsdag morgon). Provtagarna har saknat kylanläggning, men har skyddats från frysning av frostvakter vintertid. Vattenproverna har skickats till analyslaboratoriet varannan vecka, varför prover som tagits den vecka då ingen hämtning skett frysts för konservering. När provtagarna har varit ur funktion, vilket skett vid upprepade tillfällen, har stickprover tagits.



Figur 23. Kombinerad flödesmätare och vattenprovtagare vid våtmarkens utlopp. Foto: Jonas Andersson.

Vid tillfällen då prover inte kunnat tas och analysvärden saknats har en linjär interpolering gjorts mellan uppmätta halter i intilliggande provtagningar, förutom under sänkningen av våtmarksytan september-oktober 2005 då inga prover togs i våtmarkens inlopp.

Analys av prover från Södra Stene har utförts av ALcontrol i Linköping. Proverna har analyserats med avseende på totalkväve (Tot-N), nitratkväve (NO₃-N), ammoniumkväve (NH₄-N) och totalfosfor (Tot-P). Laboratoriet är ackrediterat av SWE-DAC enligt SS-EN ISO/IEC 17025 och de vattenkemiska analysmetoder som använts specificeras i Tabell 3.

Tabell 3. Vattenkemiska analysmetoder som användes av ALcontrol AB vid analysering av Södra Stene våtmarks vattenprover.

Ämne	Analysmetod
Total-kväve, Tot-N	SS-EN ISO 13395
Ammoniumkväve, NH ₄ -N	SS-EN ISO 11732
Nitratkväve, NO ₃ -N + Nitritkväve, NO ₂ -N	SS-EN ISO 13395
Total-fosfor, Tot-P	SS-EN ISO 15681
Fosfatfosfor, PO ₄ -P (begränsat antal prover)	SS-EN ISO 1189

Under perioder med högre flöden har utrustningen gett tillförlitliga data, men under lågflödesperioder har flödesdata tenderat att bli under- eller överskattade. Flödesproportionaliteten i provtagningen anses dock vara tillräckligt god, då de stora transporterna av näringsämnen generellt sammanfaller med höga flöden.

Eftersom våtmarken även tillförs behandlat hushållspillvatten från fem hushåll via en dräneringsledning som mynnar i våtmarkens östra del, och alltså inte passerar inloppsprovtagaren, så har separat provtagning genomförts för att kvantifiera näringsstillförseln från spillvattnet. Provtagningen genomfördes som en del av Marie Karlsson examensarbete (2004).

Studien genomfördes under en fyraveckorsperiod. Dräneringsröret som för spillvatten till våtmarken blottades och öppnades så att vattnet kunde samlas upp i en 210 liters tunna (Figur 24). På dräneringsröret placerades ett uppsamlingskärl, där provtagaren sög upp vattnet. När kärlet blev fullt rann det över i tunnan. Detta för att det hela tiden skulle finnas vatten att suga upp för provtagaren och för att vattnet i uppsamlingskärlet inte skulle stå för länge, då det annars fanns risk att det var "samma" vatten som provtogs under flera timmar. Vattenföringen mättes genom att allt vatten pumpades ur tunnan med hjälp av en dränkbar pump, för vilken gångtiden registrerades.

Vattenprover togs med en automatisk vattenprovtagare (ISCO Model 3700) innehållande 24 flaskor á 500 ml. Till en början togs prover varje timme för att ta reda på hur halterna av näringsämnen från de enskilda avloppen varierade under dygnet.

Därefter togs samlingsprover över 8-timmarsperioder. Totalt provtogs avloppsvatten i 26 dygn.

Samtliga prover analyserades av laboratoriet på avdelningen för vattenvårdslära (SLU Uppsala) med avseende på totalkväve (tot-N), ammoniumkväve (NH₄-N), nitratkväve (NO₃-N+ NO₂-N), totalfosfor (tot-P), fosfatfosfor (PO₄-P), totalkol (tot-C), totalt organiskt kol (TOC) och oorganiskt kol (IC).



Figur 24. Provtagning av behandlat hushållspillvatten som leds till våtmarken. Foto: Jonas Andersson.

Fakta Mer om vattenprovtagning

Erfarenheter från bl.a. små fångdammar i Norge antyder att det är nödvändigt med en flödesstyrd provtagning för att få en god kännedom om den verkliga avskiljningen av näringsämnen i en våtmark som mottar vatten med kraftiga variationer i både flöde och halter. Av den anledningen installerades flödesproportionella provtagare i Södra Stene. Läs mer om metodik för flödesmätning i rapporten:

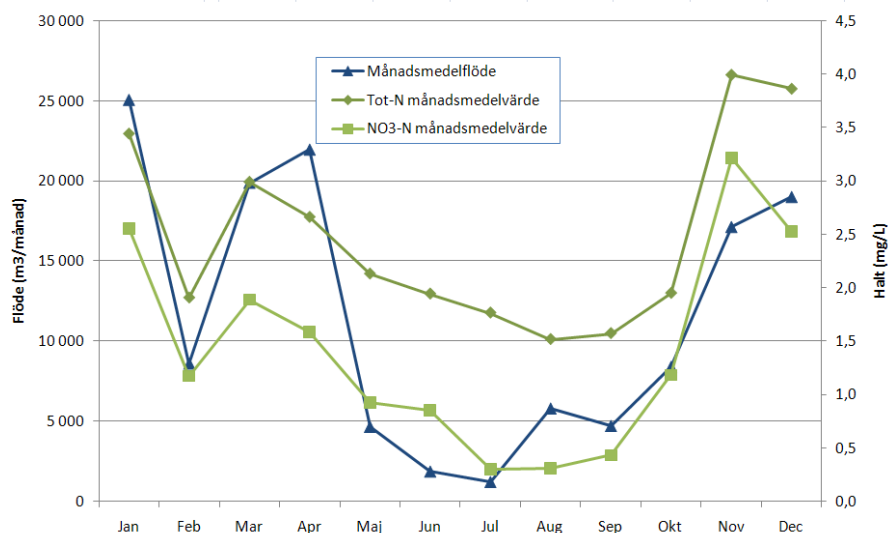
Jonas Andersson, Bengt Wedding och Karin Tonderski. 2007. *Näringsavskiljning i anlagda våtmarker, region- och metodjämförelser*. WRS Uppsala och Ekologgruppen, oktober 2006.

Läs mer om metodik för provtagning av hushållspillvatten i Marie Karlssons examensarbete, *Näringsbelastning på en anlagd våtmark från åker, skog och enskilda avlopp*. Avdelningen för vattenvårdslära, SLU Uppsala, Seminarier och examensarbeten Nr. 50.

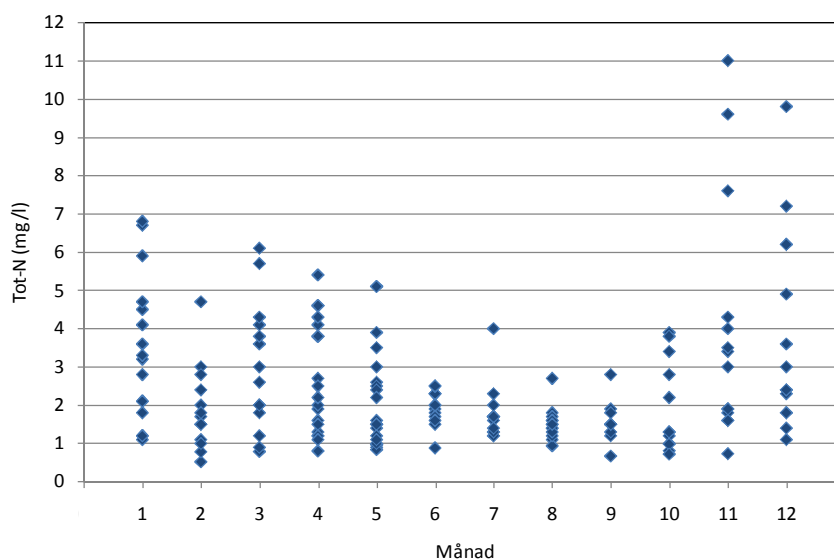
Halter av näringsämnen

Kväve

Kvävehalten i inkommande och utgående vatten i våtmarken har varierat över året. Medelhalten (ej flödesviktad) för totalkväve var i inkommande vatten 2,5 mg/l och i utgående vatten 2,1 mg/l. Halterna var något lägre än i liknande avrinningsområden i Mälarenregionen (Carlsson et al, 2004), vilket kan bero på att avrinningsområdet i Södra Stene har en relativt liten andel åkermark (ca 35 %). Variationerna i totalkvävehalt i inkommande vatten till våtmarken följde det gängse mönstret för jordbruksdominerade avrinningsområden i regionen (Carlsson et al, 2004). Höga halter sammanföll med höga flöden, framförallt under höst och vår (Figur 25). Höga halter uppmättes också i samband med tillfällig snösmältning i december, upp till 10 mg/l (Figur 26). Nitratkväve utgjorde en stor del av totalkvävemängden.



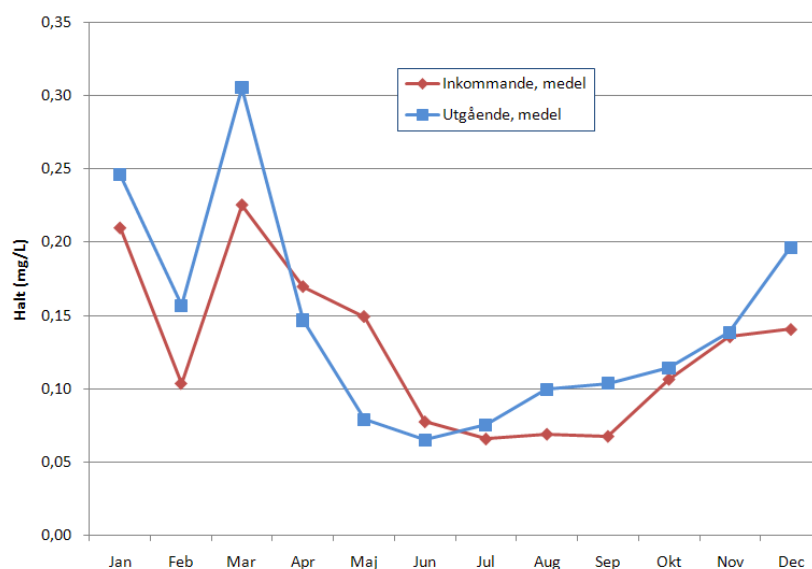
Figur 25. Inkommande halter av totalkväve (Tot-N) och nitratkväve (NO₃-N) samt flöde i våtmarken i Södra Stene. Halterna är månadsmedelvärden över hela provtagningsperioden.



Figur 26. Halter av totalkväve i inkommande vatten i Södra Stene per månad (1 = januari osv.). Varje punkt representerar ett vattenprov och avser en veckomedelhalt.

Fosfor

Den inkommande fosforhalten var högst under perioder med höga flöden, höst och vår (Figur 27). Även i utloppet var halten fosfor högst vid högflödesperioder, men ökade även under sommaren, vilket beror på att de enskilda avloppens inverkan är mest påtaglig då flödet är lågt (Figur 28). Spillvattnets påverkan avspeglades även på att inkommande fosforhalter i medel var lägre än utgående halter (Tabell 4). Medelkoncentrationen totalfosfor i inkommande vatten var under provtagningsperioden 0,12 mg/l och medelkoncentrationen i utgående vatten var 0,15 mg/l (ej flödesviktade halter). Halterna var jämförbara med liknande avrinningsområden i Mälardalsregionen (Carlsson et al, 2004).



Figur 27. Halter av totalfosfor (Tot-P) i inkommande och utgående vatten i våtmarken i Södra Stene. Halterna är månadsmedelvärden över hela provtagningsperioden.

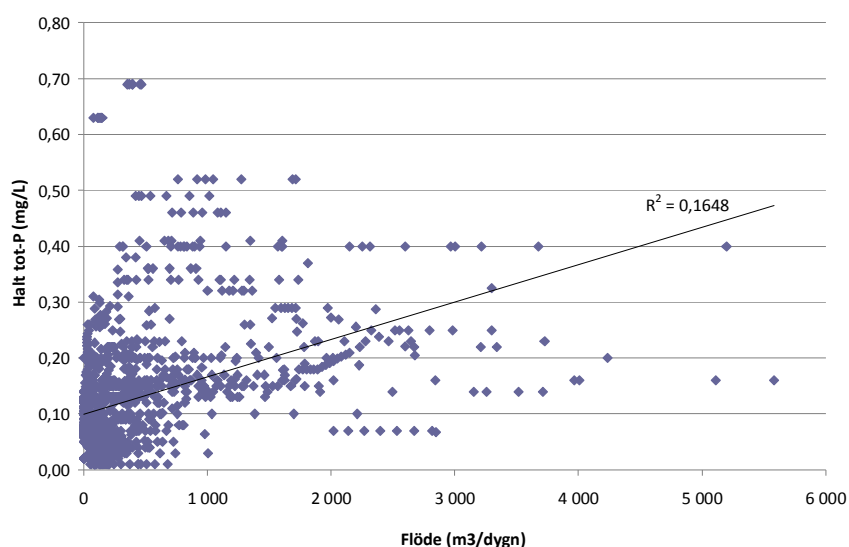
Tabell 4. Medelhalter av totalfosfor (ej flödesviktade) vid inloppet och utloppet till Södra Stene under fyra års tid.

År	TP In (mg/l)	TP Ut (mg/l)
1	0,1	0,16
2	0,1	0,17
3	0,15	0,14
4	0,14	0,11
Medel	0,12	0,15

Under vintern 2005 noterades en kraftig ökning av den utgående fosforhalten. Detta beror antagligen på att delar av våtmarken blivit syrefri på grund av att stora mängder organiskt material i form av växtdelar lämnats kvar efter slåttern i våtmarken samma höst. Nedbrytningen är syrekrävande och när syret tar slut reduceras trevärt järn till tvåvärt. Den fosfor som varit bunden till trevärd järnföreningar frisläpps då till vattnet och kan föras ut ur våtmarken. Ett stöd för denna förklaring är att det luktade starkt av svavelväte från våtmarken under samma period (svavel-

vätelukt är en god indikation på att det råder syrefria förhållanden i sedimentet) och att järnet därmed har reducerats och frisläppt fosfor.

Det verkade inte finnas något tydligt samband mellan fosforhalt i inloppet och flödet (Figur 28). Det är dock intressant att notera att det inte förekom några riktigt låga halter av fosfor då flödet var högt. Det beror på att vid höga flöden eroderas jordpartiklar från avrinningsområdet och diket, vilka förs ut till våtmarken och ger höga halter av P i inloppet. För fosforförlusterna från avrinningsområdet i Södra Stene verkar alltså episodiska väderförhållanden spela stor roll. Även de processer som avgör avskiljningen av fosfor i våtmarken tycks påverkas av sådana episoder, vilket diskuteras nedan.



Figur 28. Inkommande fosforhalt mot inkommande flöde i Stene våtmark.

Avskiljning av växtnäring

Beräkningar

För att beräkna hur mycket kväve och fosfor som har avskiljts i våtmarken så har en så kallad massbalansberäkning gjorts. I denna beräknas mängden kväve och fosfor som rinner in till respektive ut från våtmarken. Skillnaden mellan inkommande och utgående mängd är den mängd som har avskiljts i våtmarken.

Inkommande flöde har inte antagits vara det samma som utflödet, utan inloppsflödet har multiplicerades med inkommande näringshalt och utloppsflödet med utgående näringshalt.

Idealiskt vore att följa samma vattenpaket genom våtmarken vid beräkningarna. Hänsyn till uppehållstiden borde då tas, men eftersom den varierar kraftigt under året och den verkliga uppehållstiden skiljer sig från den teoretiska har i de beräkningar som redovisas ingen tidsförskjutning gjorts.

På grund av att inflödesdata periodvis inte varit tillförlitliga, så har flödesdata från inloppsmätaren inte använts för massabalansberäkningarna. Istället har ett reducerat utflöde konsekvent använts vid beräkning av växtnäringstransporten till våtmarken. Enligt beräkningar utförda av Karlsson (2005) registrerar inloppsstationen 81,6 % (80 ha/98 ha) av våtmarkens tillrinning, varför ekvation 1 har använts för korrigering av flödet (Kynkäänniemi 2006).

$$Q_{\text{inlopp}} = 0,816 \times Q_{\text{utlopp}} \quad (1)$$

Den koncentration som uppmätts i våtmarkens inlopp motsvarar delavrinningsområdet 1 (Figur 5). Marie Karlsson (2005) gjorde inom ramen för sitt examensarbete modell- och schablonberäkningar som visade att område 1 stod för 79 % av kväve och 79 % av fosforbelastningen till våtmarken 2004. I denna fördelning var inte hushållspillvattnet inräknat. Tillkommande flöden och näringsbelastning från behandlat hushållspillvatten samt från delavrinningsområde 2 och 3 har tagits med i massabalansberäkningarna. Tillsammans har område 2 och 3 beräknats bidra med 21 % Tot-N och 21 % Tot-P, då de innehöll en större andel åkermark än område 1 (Karlsson 2005).

Den totala förväntade belastningen från område 2 och 3 har således beräknats med ekvationerna 2 och 3 (Kynkäänniemi 2006).

$$TN_{\text{omr}2\&3} = Q_{\text{in}} \times C_{\text{in}} / 0,79 \times 0,21 \quad (2)$$

$$TP_{\text{omr}2\&3} = Q_{\text{in}} \times C_{\text{in}} / 0,79 \times 0,21 \quad (3)$$

Enligt Marie Karlssons beräkningar (2005) bidrog spillvattnet år 2004 med ca 4,5 kg fosfor/år och ca 20 kg kväve per år. Tillförseln från avloppet har ansetts vara relativt konstant under året och baseras på uppmätta värden, varför dygnsvis 0,056 kg N respektive 0,013 kg P har adderats till inkommande mängder.

Näringsavskiljningen i våtmarken har beräknats genom att subtrahera utgående mängd från den inkommande mängden närsalter, korrigerad för avrinning från område 2 och 3 samt avloppet (ekvation 4).

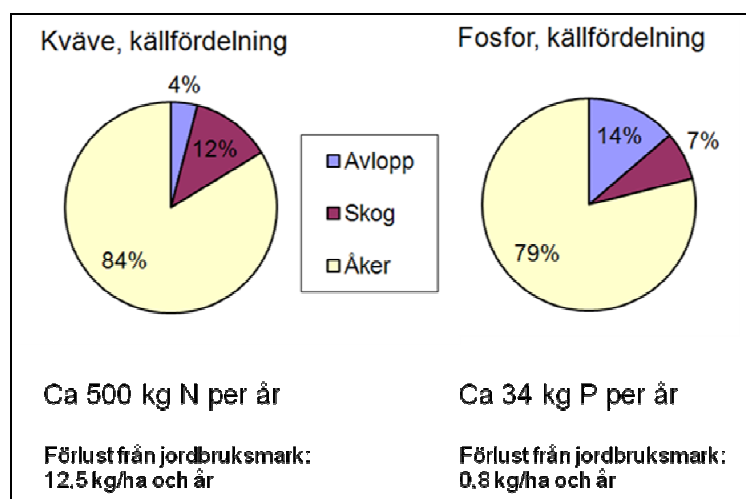
$$(\text{Avskilj})_n = (\text{INomr1})_n + (\text{INomr2\&3})_n + \text{Avl} - (\text{Ut})_n \quad (4)$$

där Avskiljn avser avskiljningen (av kväve respektive fosfor) för dagen n i kg/dygn, (INomr1)_n inflödet från område 1, (INomr2&3)_n inflödet från område 2+3, Avl är avloppsbelastningen (konstant) och (Ut)_n är utflödet för beräkningsdagen n.

Ingen hänsyn har tagits till nederbörd på eller avdunstning från våtmarken, eller till eventuellt utbyte med grundvatten.

Källfördelning

Marie Karlssons (2005) gjorde inom ramen för sitt examensarbete en beräkning av källfördelningen för kväve och fosfor från avrinningsområdet baserat på modelldata för kväve (beräkningar utförda med Jordbruksverkets beräkningsprogram STANK) och schabloner för fosfor. Utifrån de schablonvärden som där användes för avrinning från skogsmark, de beräknade näringsmängderna från hushållspillvatten samt massbalansberäkningar enligt avsnittet ovan, så har en källfördelning räknats fram för belastningen av kväve och fosfor till våtmarken i Södra Stene (Figur 29). Ungefär 62 ha av avrinningsområdet består av skogsmark. I beräkningen har ett uppskattat kväveläckage på 1,0 kg/ha och år och ett fosforläckage på 0,04 kg/ha och år använts för skogsmarken, vilket ger 62 kg kväve respektive 2,5 kg fosfor per år. Hushållspillvattnet beräknades tillföra 20,5 kg kväve och 4,6 kg fosfor per år. Den återstående mängden kväve och fosfor har antagits härröra från åkermarken.



Figur 29. Källfördelning för belastningen av kväve och fosfor till våtmarken i Södra Stene.

Avskiljning av kväve

Den avskiljda kvävemängden, inkluderande hela avrinningsområdet samt bidrag från avlopp, var i genomsnitt över 4-årsperioden 25 kg tot-N/ha våtmark och år. Avskiljningen varierade kraftigt mellan åren (Tabell 5).

Även belastningen av kväve på våtmarken varierade kraftigt mellan åren. Eftersom höga flöden sammanföll med höga halter (Figur 25) var belastningen högst under perioder med hög avrinning. År 3 (april 2006-mars 2007) var avrinningen drygt fyra gånger högre än året innan (Tabell 2), och belastningen ökade med ca 2,5 gånger (Tabell 5). Det är tydligt att en högre kvävebelastning också gav en högre kväveavskiljning.

Tabell 5. Sammanställning av mätdata från våtmarken i Södra Stene för de fyra år som provtagning pågått.

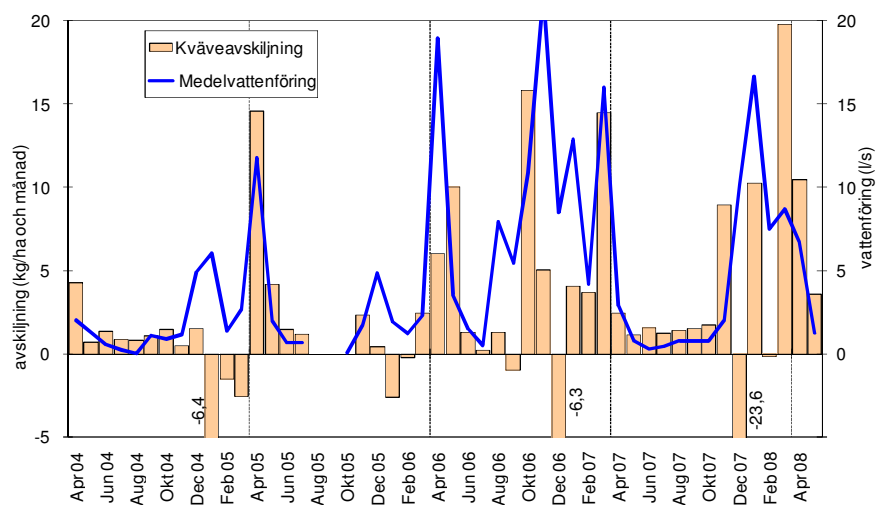
		Totalt	År 1	År 2	År 3	år 4
		apr 04- mar 08	apr 04- mar 05	apr 05- mar 06	apr 06- mar 07	apr 07- mar 08
Vattenföring:	m ³	559 589	58 393	70 651	294 484	136 060
Medelvattenföring	l/s	4,4	1,9	2,2	9,3	4,3
Medelavrinning	l/s/ha	0,05	0,019	0,023	0,095	0,044
Medelavrinning	mm	143	60	72	300	139
Uppehållstid (teoretisk)	dagar	29	70	57	14	30
Kväve, total						
In	kg	2 029	233	347	858	591
Medelhalt	mg/l	3,6	4,0	4,9	2,9	4,3
Markläckage	kg/ha/år	5,3	2,4	3,6	8,9	6,2
* Belastning, damm	kg/ha/år	242	111	165	409	281
Retention, absolut	kg	209	4	36	114	55
* Retention, yteffekt	kg/ha/år	25	2	17	54	26
Retention, relativ	%	10	2	10	13	9
Fosfor, total						
In	kg	136	12,8	20,7	67	36
Medelhalt	mg/l	0,24	0,22	0,29	0,23	0,26
Markläckage	kg/ha/år	0,36	0,13	0,22	0,70	0,38
* Belastning, damm	kg/ha/år	16,2	6,1	9,8	31,9	17,2
Retention, absolut	kg	24,3	2,6	3,4	13,1	5,2
* Retention, yteffekt	kg/ha/år	2,9	1,3	1,6	6,2	2,5
Retention, relativ	%	18	21	17	20	14

* Våtmarksareal =2,1 ha

Angivna mängder år 2 är uppräknade till helår utifrån data för 9 månader

Även inom ett år varierade belastningen och avskiljningen mycket. I Figur 30 visas månadsavskiljningen av kväve och månadsmedelflödet. Den högsta avskiljningen skedde generellt under vårens högflödesperioder, medan det under samtliga vint-rar verkar ha varit ett visst utläckage av kväve.

Våtmarken i Södra Stene



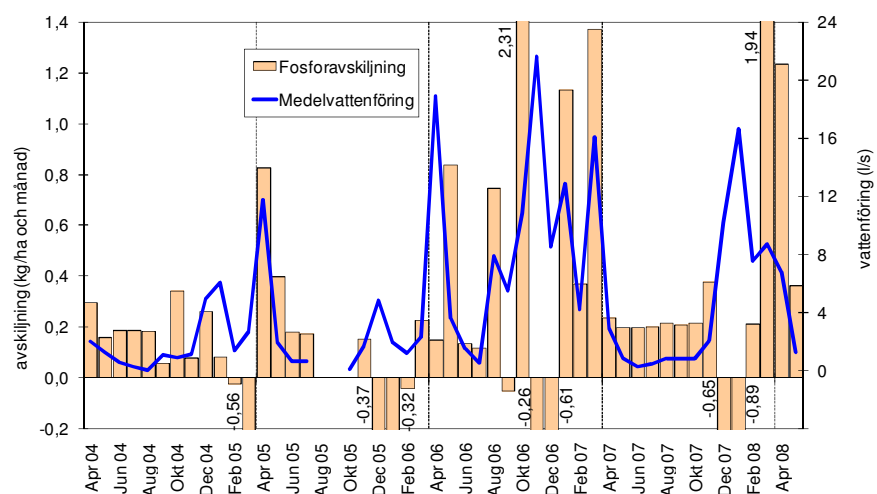
Figur 30. Avskiljning av totalkväve i Södra Stene under perioden april 2004 – maj 2008. Avskiljningen är uttryckt som kg/månad och hektar våtmarksyta.

Avskiljning av fosfor

Då man enbart studerar halter av fosfor in och ut (se avsnitt om halter ovan), verkar Stene fungera som en fosforkälla, alltså att mer fosfor lämnar våtmarken än vad som kommer in i den. Då man studerar massbalansen, inkluderande tillförseln med spillvatten, visar det sig dock att Stene är en väl fungerande våtmark med i genomsnitt en positiv fosforavskiljning (Tabell 5). Den feltolkning som kan göras om man enbart studerar de uppmätta halterna, beror på att höga halter i utgående vatten under sommaren, då flödet och därmed näringstransporten är liten, får ett opropor­tionerligt genomslag på resultatet. Dessutom inkluderar inte mätvärdena tillförseln med spillvatten som under lågflöden får en större betydelse för massbalansen. Den stora transporten av fosfor förekom främst under vårarna, då ett högt flöde sammanföll med höga halter i inloppet och då man såg en tydlig haltreduktion genom våtmarken (Figur 27).

Den absoluta avskiljningen av fosfor (med hänsyn taget till hela avrinningsområdet samt bidrag från avlopp) var under provtagningsperioden i genomsnitt 2,9 kg/ha våtmarksyta. Fosforbelastningen var i genomsnitt 16,2 kg/ha våtmark, vilket innebär en relativ avskiljning på 18 %. Även för fosfor var variationerna mellan åren relativt stora (Tabell 5), och en hög belastning och avskiljning sammanföll med perioder med höga flöden.

Våtmarken i Södra Stene



Figur 31. Avskiljning av totalfosfor i Södra Stene under perioden april 2004 – maj 2008. Avskiljningen är uttryckt som kg/månad och hektar våtmarksyta.

Även för fosfor syns stora skillnader inom ett år. Under vintermånaderna var avskiljningen negativ, vilket innebär att våtmarken läckte fosfor under dessa perioder. Som nämnts ovan kan det bero på syrebrist i sedimenten beroende på nedbrytning av döda växtdelar. I vissa fall har detta sammanfallit med höga flöden (vintrarna 2006 och 2007 sammanföll den negativa avskiljningen med mycket hög vattenföring).

Sedimentundersökningar

Under våren 2008 utfördes analyser av sedimentet i våtmarken i Södra Stene (Figur 32). Målet för arbetet var att jämföra den *beräknade* fosforavskiljningen (baserad på in- och utflöden av fosfor – se föregående avsnitt) med den *uppmätta* mängden i sedimentet, samt att undersöka var i våtmarken huvuddelen av fosfor ligger bunden och i vilken form den förekommer. Sedimentundersökningarna utfördes som en del av Karin Johannessons examensarbete (2008).



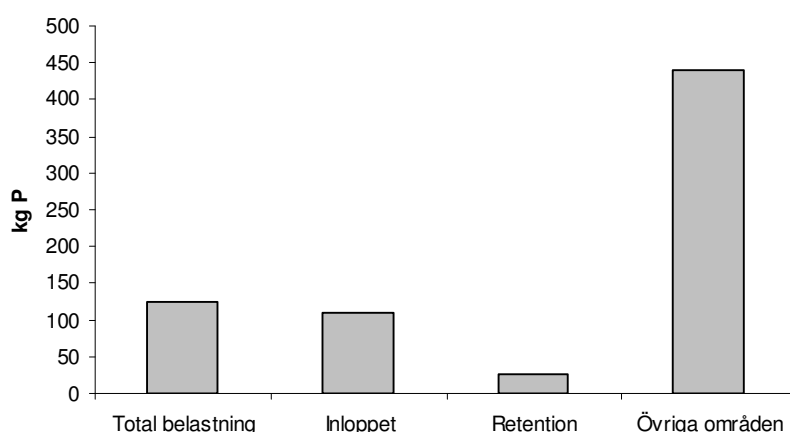
Figur 32. Sedimentprovtagning i våtmarken i Södra Stene, februari 2008. Foto JonasAndersson.

Analys av stickprover vid inloppet visade att den största delen av inkommande fosfor var i partikulär form, och att sedimentation av partiklar därmed antagligen är den viktigaste avskiljningsmekanismen för det fosfor som rinner in i våtmarken genom huvudinloppet.

Sedimentstudien visade att den största delen av fosfor sedimenterar precis vid inloppet – där hade nästan 90 % av den inkommande fosfor ackumulerats (Figur 33). Därför kan man anta att den fosfor som lämnade våtmarken under perioden inte var samma fosfor som rann in i den. En källa till fosfor i utloppsvattnet skulle kunna vara spillvattnet. När sedimentet nära avloppsmynningen blir mättat med fosfor kan löst fosfat rinna vidare ner till den djupare dammen vid utloppet och vidare ut. Vid höga flöden skulle det dessutom kunna ske en uppvirvling av sedimentet i den djupare delen där inga (eller få) växtrötter binder sedimentpartiklarna som i de grundare delarna. Det skulle innebära att partikulärt fosfor lämnar våtmarken.

Ett grundare område med rotad vegetation vid utloppet skulle kunna bidra till att förhindra att partikulär fosfor lämnar våtmarken vid höga flöden. Vegetationen spelar dessutom en viktig roll genom att den förhindrar uppvirvling av partiklar.

Våtmarken i Södra Stene



Figur 33. Den totala fosforbelastningen under fyra års tid, jämfört med mängden fosfor (P) i inloppets sediment, fosforavskiljningen (retention, baserad på massbalansberäkningar) samt mängden fosfor i sedimenten i de övriga områdena.

Den totala fosforbelastningen under fyra års tid beräknades till 123 kg, men den totala fosformängden i det nybildade översta sedimentlagret i hela våtmarken var nästan fem gånger så hög (Tabell 6 och Tabell 7). Den fosfor som ligger bunden i områden med mycket vegetation härrör troligen huvudsakligen från den underliggande leran, dvs. det har skett en intern omfördelning av fosfor till organiskt bunden form. En del av denna fosfor kan tillföras sedimentet eller vattenpelaren när växterna vissnar ned på höstarna, och kan därmed ha bidragit till den fosfor som lämnade våtmarken under studieperioden.

Tabell 6. Area av olika områden, medeltjocklek, volym, densitet och totalfosformängd (P_{tot}) i sedimentet i våtmarken i Södra Stene. IN = området nära inloppet, OUT = området nära utloppet, T1 = grunt område med vegetation nära inloppet, T2 = grunt område med vegetation nära utloppet, Ts = grunt område med vegetation i anslutning till ett dräneringsrör med avloppsvatten.

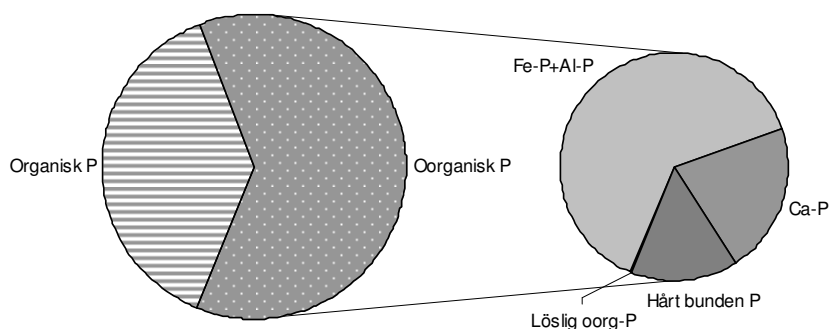
	Area (m ²)	Medeltjocklek sediment (m)	Volym (m ³)	Densitet (kg m ⁻³)	P_{tot} (kg)
IN	1150	0,16	187	550	110
UT	4350	0,02	131	751	50
T1	4225	0,05	190	784	142
T2	4250	0,04	152	1036	133
Ts	3875	0,04	163	777	134
Totalt	17850				569

Tabell 7. Beräknad mängd inkommande, utgående och kvarhållen fosfor i våtmarken i Södra Stene under de fyra år den varit i drift.

År	P_{in} (kg)	P_{ut} (kg)	Retention (kg)	Retention (%)
1	13	10	3	23%
2	16	13	3	19%
3	67	54	13	19%
4	28	21	7	25%
Totalt	124	98	26	21%

Fördelningen mellan organisk och oorganisk fosfor var 38 % och 62 % (Figur 34). Den oorganiska fraktionen dominerades av fosfor bundet till järn eller aluminium. Järnbunden fosfor (Fe-P) är stabil endast under syresatta förhållanden, och som diskuterats ovan registrerades stora fosforförluster från våtmarken under vintern 2005. Eftersom detta sammanföll med en stark lukt av svavelväte, som indikerar syrebrist, är det troligt att det var fosfor som frigjorts från järn som läckte ut från våtmarken.

Den lättillgängliga fosfor utgjorde 0,2 % av den totala P-mängden i sedimentet, men en del av den organiskt bundna fosfor kan också vara relativt lätt tillgänglig. Stabilt bunden oorganisk fosfor (Ca-P och hårt bunden P i figuren) utgjorde 21 % av den totala fosformängden i sedimentet.



Figur 34. Fördelningen av fosfor i sedimentet i Södra Stene.

Eftersom den primära avskiljningsmekanismen är sedimentation krävs det någon form av skötsel för att våtmarken ska fortsätta fungera som fosforfälla. Det kan exempelvis innebära utgrävning av det fosforrika sedimentet vid inloppet. En annan åtgärd för att ta bort fosfor från våtmarken är att skörda växtligheten och därmed föra bort den näring som är bunden i biomassan. Kaveldun, som är den dominerande växten i våtmarken, har en lagringskapacitet på 46-120 kg P per hektar och år. I våtmarken i Södra Stene täcker vegetation ungefär hälften av ytan, vilket innebär ca en hektar. Teoretiskt sett kan alltså den totala mängd som finns bunden i biomassan under vegetationsperioden motsvara den totala årliga belastningen. Mer än hälften av näringen lagras dock i rötter och rhizom, vilka är svåra att skörda. Skörd av vegetationen skulle ändå kunna bidra till lägre fosforhalter i och minskade fosforförluster från våtmarken.

Fakta **Läs mer om fosfor i våtmarkens sediment**

Karin Johannesson. 2008. *Phosphorus retention in a constructed wetland - the role of sediment accretion*. LiTH-IFM-A-Ex-08/1958--SE. Examensarbete, Avd. för fysik, kemi och biologi, Linköpings universitet.

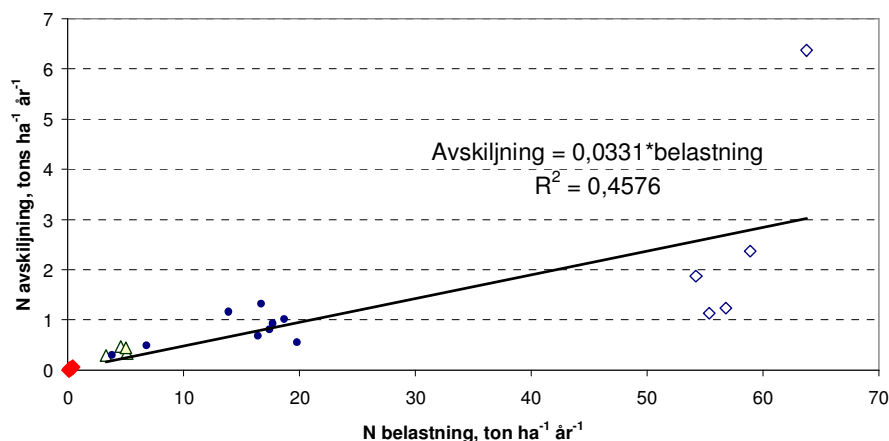
Diskussion och jämförelser med andra våtmarker

Resultat från studier i andra länder visar att våtmarker kan avskilja stora mängder kväve, uttryckt i kg per hektar och år. En sammanställning av data från Nordamerika visade på en avskiljning av nitratkväve på över 1 ton per hektar och år vid halter omkring 10 mg/l i inflödet (Kadlec, 2005). Effekten på inkommande halter blir dock lägre när inflödet av vatten ökar. I små, mycket högbelastade, våtmarker i Norge uppmätte Braskerud (2002) en kväveavskiljning mellan 500 och 2850 kg/ha och år. Våtmarkerna tog emot mycket partikelrikt vatten och Braskerud kunde visa att den största delen av avskiljningen berodde på sedimentation av partiklar innehållande organiskt kväve, medan denitrifikationen var av liten betydelse. Den relativa avskiljningen var dock så liten som 3 % av belastningen för den mest belastade våtmarken.

Våtmarken i Södra Stene avskiljde en relativt stor andel av kvävet i tillrinningen, i snitt 10 % av belastningen. I jämförelse med resultaten från några välstuderade våtmarker i Skåne så är det högt – de senare avskiljde mellan 4 och 9 % av belastningen, med den högsta siffran för den våtmark som var lägst belastad (Wedding, 2003). I Stene motsvarade 10 % dock en liten mängd avskiljd kväve per hektar våtmark (Figur 35). Detta förklaras av att Stene våtmark är stor i förhållande till tillrinningsområdet, ca 2.2 % utgörs av våtmarkens yta. De skånska våtmarkerna har en yta som motsvarar endast ca 0,07 – 0,3 % av tillrinningsområdet, vilket gör att det får ta emot betydligt mer vatten. Även om halterna av kväve i avrinningen från åkermarken i Skåne långsamt minskar (Ulén och Fölster 2005) ligger de fortfarande avsevärt högre än i Mälardalen, vilket ytterligare bidrar till den högre kvävebelastningen på de studerade skånska våtmarkerna. Dessutom utgörs tillrinningsområdena till de skånska våtmarkerna av 65-100 % odlad mark, medan jordbruksmarken i Södra Stene upptar ca 35 % av ; en faktor som även den bidrar till den låga belastningen i den senare. Data från en del stickprovtagningar för analys av vattenkvalitet i anlagda våtmarker inom Örekilsälvens avrinningsområde (dränerar till Gullmarsfjorden i Bohuslän) visade på en kväveavskiljning som var jämförbar med den i Stene. De flesta av dessa, då nyanlagda, våtmarker var också förhållandevis lågbelastade med kvävekoncentrationer i inkommande vatten liknande de i Stene (opublicerade data). Den av våtmarkerna som har en högre andel jordbruksmark i tillrinningsområdet och högre tillrinning hade dock en påtagligt högre kväve- och fosforavskiljning under mätperioden. Eftersom resultaten baseras på stickprovtagning är de osäkra vad gäller avskiljningen i kg per hektar, men skillnaden mellan hög- och lågbelastade våtmarker var tydlig.

Den lågbelastade våtmarken i Stene kan sägas representera många våtmarker som har etablerats i östra Svealand. En hel del av de våtmarker som anlagts i andra delar av södra Sverige är också av samma karaktär som Stene, dvs. stora i förhållande till avrinningsområdet och med en andel åkermark som är lägre än 50 % (Svensson et al., 2004). I en pågående beräkning av effekten av ca 4000 ha anlagda våtmarker i södra Sverige framgår det likaså att många av våtmarkerna har låg belastning; den genomsnittliga avskiljningen ligger i de beräkningarna på under 50 kg per hektar och år (Brandt et al., 2009).

Våtmarken i Södra Stene



Figur 35. Kvävebelastning och kväveavskiljning i kg/(ha*år) i Södra Stene våtmark (röda fyllda romber) jämfört med årliga resultat från tre våtmarker i Skåne. Regressionslinjen är dragen för de skånska våtmarkerna (Data från Wedding, 2003).

För fosfor var förhållandet annorlunda, med mer än dubbelt så höga halter i inflödet till Stene som i de skånska våtmarkerna. Det stämmer med Ulén och Fölsters rapport (2005) att halterna av total-P är högre i avrinningen från Mälardalens lerdominerade jordbruksområden än i motsvarande skånska åar. Som framgått ovan varierade fosforhalterna i det huvudsakliga inloppet till Södra Stene våtmark väldigt mycket och ökade vid episoder av hög avrinning. Den totala belastningen på våtmarken var dock låg trots de relativt höga halterna (Figur 36), vilket beror på våtmarkens relativa storlek och den därmed relativt låga belastningen av vatten. Som fosforfälla betraktad är dock Södra Stene rätt så effektiv, då den avskiljer ca 20 % av den inkommande fosfor, vilket är dubbelt så högt som de två högt belastade våtmarkerna i Skåne, men lägre än för den lägst belastade våtmarken (Genarp).

Man kunde kanske förvänta sig att en ännu större andel fosfor skulle kvarhållas i Södra Stene, eftersom vattnet i huvudinloppet innehåller mycket partiklar; >2/3 är partikulärt bunden fosfor (opublicerade data). Vid en jämförelse med en sammanställning av data från 18 andra våtmarker i jordbrukslandskap (Braskerud et al. 2005) passar data från Södra Stene in i ett mönster. Av de lågbelastade våtmarkerna i den studien, dvs. de vars area utgjorde > 1 % av avrinningsområdets storlek, hade de med hög andel reaktivt fosfat i inloppsvattnet ca 20 % avskiljning av totalfosfor (4-11 kg/ha och år), medan de med liten andel hade betydligt högre både relativ och absolut avskiljning. Sedimentstudierna från Södra Stene visade att partiklarna som rinner in i våtmarken under höga flöden sedimenterade vid inloppet (Figur 33). Ca 14 % av fosforbelastningen utgjordes dock av spillvatten som leds direkt till våtmarkens utloppsdal och inte ingår i de uppmätta halterna. Fosfor i detta vatten kan antas vara relativt lätt tillgänglig, och torde därmed vara en bidragande källa till den fosfor som lämnar våtmarken.

Figur 36 visar att det finns en stor potential för att avskilja fosfor i våtmarker – avskiljningen i den högst belastade våtmarken i Skåne, Slogstorp, uppgick till nära 50 kg/ha och år i medeltal. Även i denna damm antogs sedimentation av partikulärt fosfor vara den dominerande mekanismen för avskiljning, eftersom den stora av-

Fakta Mer läsning om växtnäringsavskiljning och jämförelser mellan olika våtmarker

Jonas Andersson, Bengt Wedding och Karin Tonderski. 2006. Näringsavskiljning i anlagda våtmarker, region- och metodjämförelser. WRS Uppsala och Ekologgruppen, oktober 2006.

Bengt Wedding. 2003. Dammar som reningsverk. Mätningar av näringsämnesreduktionen i nyanlagda dammar 1993-2002. Höje Å projektet och Kävlinge Å projektet. Ekologgruppen i Landskrona AB, Landskrona.

Tonderski, K, Landin, J., Weisner, S. och Oscarsson, H. Våtmarksboken. VASTRA Rapport 3. Bokakademien i Linköping AB, Linköping.

Vetenskaplig litteratur i ämnet:

För kväve: Kadlec R.H. 2005. *Nitrogen farming: the use of wetlands for nitrate removal*. J. Environmental Science and Health, 40, 1307-1330.

För fosfor: Kadlec, R. H. 2005. *Phosphorus removal in emergent free surface wetlands*. J. Environmental Science and Health, 40, 1293-1305.

Sammanfattande slutsatser

- Anlagda våtmarker har stor betydelse för många fåglar och växter och får snabbt en hög artrikedom. Redan efter två till tre år är artantalet förvånansvärt högt. Även flera minskande och rödlistade fågelarter hittades i de undersökta våtmarkerna. För fåglarna är våtmarkens storlek det som har störst betydelse, då större våtmarker hyser fler arter. Flacka stränder och lång strandlinje är också positivt för både fåglar och kärlväxter.
- Klippning av bredkaveldun ett effektivt sätt att minska täckningsgraden och ger andra arter en chans att öka i utbredning. För att påtagligt minska bredkaveldunets utbredning krävs mer än en klippning per år. Vid en skörd per år är en sen klippning (augusti) att rekommendera för att inte störa häckande fåglar. Dränkning av de klippta skotten är också en tillväxthämmande åtgärd för kaveldun.
- Det fåtal enskilda avlopp som belastar våtmarken representerar ca 14 % av den totala fosfortillförseln till våtmarken men endast ca 4 % vad gäller kväve. Den totala belastningen av både kväve och fosfor är låg beroende på att våtmarken är stor i förhållande till tillrinningsområdets yta, ca 2 %.
- Våtmarken avskiljer ca 20 % av fosfortillförseln och 10 % av kvävetillförseln, vilket är en relativt god avskiljning jämfört med andra våtmarker i jordbrukslandskap. Den låga belastningen gör dock att avskiljningen räknat i kg per hektar och år är låg; 25 kg för kväve och 3 kg för fosfor. Under år med mer nederbörd och därmed högre belastning ökar den areella avskiljningen.
- Resultaten av studien bekräftar att våtmarker som är stora i förhållande till avrinningsområdet (> 2 % i detta fall) avskiljer en relativt stor andel av tillförd växtnäring, men har en låg effektivitet uttryckt i kg/ha och år. För att nå en hög avskiljning per hektar våtmarksyta bör de ekonomiska stöden utformas så att våtmarkerna anläggs i lägen där de får hög belastning. De ska således ligga med en hög andel jordbruksmark uppströms och vara mindre än Södra Stene, förslagsvis avsevärt mindre än 1 % av avrinningsområdets area.
- Projektet har levererat de första svenska resultaten vad gäller fosforavskiljning i en våtmark som ligger i ett lerjordsdominerat område, och visat att en våtmark även i ett sådant läge kan fungera som fosforfälla. Mer studier krävs dock för att fastslå om denna funktion bibehålls även i liknande våtmarker med avsevärt högre fosforbelastning.

- En stor del av den fosfor som rinner in i våtmarken via huvudinflödet ligger kvar som ackumulerad sediment i inloppsdel. Eftersom den största transporten av fosfor ut från våtmarken skett under perioder med höga flöden tyder det på att partiklar som virvlar upp från andra delar av våtmarken bidrar till utflödet av fosfor. Större utflöden har även skett under enstaka perioder med syrefria förhållanden, vilket visar på betydelsen av att föra bort skördad biomassa från våtmarken för att upprätthålla en god fosforavskiljning. En grund zon med vegetation direkt före utloppet skulle eventuellt kunna fungera som ett filter för partiklar som virvlar upp och förs ut från våtmarken.
- Vad gäller kväveavskiljningen tycks den skärm som monterades vid inloppet år 2005 ha bidragit positivt genom att vattnet tvingas ut i områden med täta kaveldunsbestånd. Tidpunkten sammanfaller med att vegetationen var bättre etablerad vilket gör att man inte kan dra säkra slutsatser. Det är dock sannolikt att både skärmen och den tätare vegetationen har gynnat avskiljningen av kväve.

Litteratur

- Andersson J, Wedding B och Tonderski, K. 2006. Näringsavskiljning i anlagda våtmarker – Region och metodjämförelser. WRS Uppsala och Ekologgruppen i Landskrona.
- Brandt, M., Arheimer, B., Gustavsson, H., Pers, C. Rosberg, J., Sundström, M. och Thorén, A-K., 2009. Uppföljning av effekten av anlagda våtmarker i jordbrukslandskapet på belastning av kväve och fosfor. Manuskript.
- Braskerud, B. C. 2002. Factors affecting nitrogen retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution. *Ecological Engineering* 18 : 351–370.
- Braskerud B.C., Tonderski K.S., Wedding B., Blankenberg A.-G.B., Bakke R., Ulén B. och Koskiaho J. 2005. Can Constructed Wetlands Reduce the Diffuse Phosphorus Loads to Eutrophic Water in Cold Temperate Regions? *J. Environmental Quality*, 34, 2145-2155.
- Carlsson, C., Kyllmar, K., Johnsson, H. 2004. Typområden på jordbruksmark – Avrinning och växtnäringsförluster för det agrohydrologiska året 2002/2003. *Ekohydrologi* 80, Avdelningen för vattenvårdslära, SLU Uppsala.
- Ekologgruppen i Landskrona. 2000. Biologisk mångfald i dammar. Vegetation. Undersökning av 26 nyanlagda dammar hösten 1998.
- Ekologgruppen i Landskrona. 2001. Biologisk mångfald i dammar. Fåglar. Undersökning av 51 nyanlagda dammar 1994-2000.
- Ekologgruppen i Landskrona. 2002. Biologisk mångfald i dammar. Fåglar. Undersökning av 31 nyanlagda dammar 2001.
- Eriksson, S. 2007. Slutrapport. Delprojekt - bekämpning av igenväxningsvegetation, framför allt kaveldun, vid nyanlagda våtmarker i odlingslandskapet. Hushållningsällskapet, Uppsala.
- Fjäder, M. 2008. Anlagda våtmarker i odlingslandskapet - hur påverkas kärlväxternas diversitet? *Daphne* 19:2.
- Gottschall N, Boutin C, Crolla A, Kinsley C & Champagne. 2007. The role of plants in the removal of nutrients at a constructed wetland treating agricultural (dairy) wastewater, Ontario, Canada. *Ecological Engineering* 29: 154-163.
- Johannesson, K. 2008. Phosphorus retention in a constructed wetland - the role of sediment accretion. Examensarbete. Avd. för fysik, kemi och biologi, Linköpings universitet.
- Johannesson, K. 2009. Sedimentens roll för fosforfastläggningen i en anlagd våtmark. Rapport till slutseminarium för projektet "Våtmarker i odlingslandskapet" 22 januari 2009. IFM Ekologi, Linköpings universitet.
- Kadlec, R. H. 2005. Phosphorus removal in emergent free surface wetlands. *J. Environmental Science and Health*, 40, 1293-1305.
- Kadlec R.H. 2005. Nitrogen farming: the use of wetlands for nitrate removal. *J. Environmental Science and Health*, 40, 1307-1330.
- Karlsson, M. 2005. Näringsbelastning på en anlagd våtmark från åker, skog och enskilda avlopp. Examensarbete 20p. Avdelningen för vattenvårdslära, SLU.
- Kynkäänniemi, P. 2006. Reningsfunktion i en lågbelastad våtmark, Examensarbete 20p. Avdelningen för vattenvårdslära, SLU.

- Olsson, J. 2005. Fåglar i anlagda småvatten. Examensarbete 20 p. Prel. version (opublicerat). Institutionen för naturvårdsbiologi, SLU.
- Reddy KR & Debusk WF. 1987. Nutrient storage capabilities of aquatic and wetland plants. I Reddy KR & Smith WH (eds.) Aquatic plants for water treatment and resource recovery. Magnolia Publishing Inc., Orlando, Florida.
- Ulén, B. och Fölster, J. 2005. Närsaltskoncentrationer och trender i jordbruksdominerade vattendrag. *Ekohydrologi* 84, Rapport 2005:5. Avdelningen för vattenvårdslära, Institutionen för markvetenskap, SLU Uppsala.
- Uusi-Kämppe, J., Braskerud, B., Jansson, H., Syversen, N. and Uusitalo, R. 2000. Buffer Zones and Constructed Wetlands as Filters for Agricultural Phosphorus. *J. Env. Quality*, 29:151-158.
- Wedding, B. 2003. Dammar som reningsverk. Mätningar av näringsämnesreduktionen i nyanlagda dammar 1993-2002. Höje Å projektet och Kävlings Å projektet. Ekologgruppen i Landskrona AB, Landskrona.
- Österberg, R. 2005. Kärlväxter i anlagda småvatten. Examensarbete 20 p, Nr 150, Institutionen för naturvårdsbiologi, SLU.
- <http://www.artdata.slu.se/rodlista/index.cfm>