

Näringsavskiljning i anlagda våtmarker

Region- och metodjämförelser



Jonas Andersson¹, Bengt Wedding² och Karin Tonderski³

¹) WRS Uppsala AB, ²) Ekologgruppen i Landskrona AB

³) Linköpings Universitet, IFM Biologi.

Oktober 2006

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
1 Inledning	4
2 Undersökta våtmarker	5
2.1 Slogstorp	6
2.2 Södra Stene.....	8
3 Metodik	10
3.1 Vattenföringsmätning.....	10
3.1.1 Slogstorp	10
3.1.2 Södra Stene	12
3.2 Vattenprovtagning	13
3.2.1 Slogstorp	13
3.2.2 Södra Stene	14
3.3 Analysmetoder.....	14
3.3.1 Slogstorp	14
3.3.2 Södra Stene	15
3.4 Resultatbearbetning.....	15
3.4.1 Slogstorp	15
3.4.2 Södra Stene	16
4 Resultat med kommentarer	17
4.1 Allmänt.....	17
4.2 Slogstorp	17
4.2.1 Kväve.....	19
4.2.2 Fosfor.....	22
4.2.3 Suspenderat material.....	25
4.3 Södra Stene.....	27
4.3.1 Nederbörd och vattenföring.....	27
4.3.2 Kväve.....	28
4.3.3 Fosfor	30
5 Diskussion och slutsatser	33
5.1 Flödesproportionella prover eller tidsstyrd provtagning?	33
5.2 Jämförelse mellan anläggningarna i Slogstorp och Södra Stene.....	34
6 Tack	36
7 Referenser	36
Bilaga 1 – Provtagare i Slogstorp	38
Bilaga 2 – Provtagare i Södra Stene	41
Bilaga 3 – Beräkning av flöde i in- och utlopp i Södra Stene	44
Bilaga 4 - Årssammanställning av mätdata från Slogstorp	45
Bilaga 5 - Årssammanställning av mätdata från Södra Stene	46

Sammanfattning

Anläggning av våtmarker har på senare år etablerats som ett av många sätt att minska transporten av kväve till havet. De studier som finns pekar på att de även minskar transporten av fosfor. Det är dock ont om kvantitativa uppföljningar av vilken effekt våtmarker har på närsalttransporten i vattendrag, bl.a. på grund av att både transporten och avskiljningen varierar med väderleken, och variationen mellan år kan vara betydande. Dessutom kan man förvänta sig en betydande skillnad mellan olika delar av landet beroende på bl.a. jordarter, brukningsmönster och avrinningsbildning. I Sverige finns ett fåtal tidsserier över kväve och fosforavskiljning i våtmarker, framförallt från Skåne och Halland, men det är viktigt att även följa upp effekten av våtmarker som anlagts i andra regioner.

I föreliggande rapport utvärderas två års resultat av vattenprovtagningar i en våtmark, Södra Stene, som anlagts i östra Mälardalen. Den anses vara typisk för våtmarker i detta område, eftersom den är relativt stor i förhållande till avrinningsområdet och därmed lågt belastad av näringsämnen. Dessutom har en metodstudie genomförts under trekvarts år (november – juli) i Slogstorp som är en liten, högbelastad våtmark i Skåne. Syftet var att kvantifiera skillnaden i resultat om vattenprover tas med en tidsproportionell kontinuerlig provtagning kontra en provtagare som tar prover proportionellt mot flödet.

Resultaten från fem provtagningsperioder i Slogstorp visar att provtagningstekniken har stor betydelse för kvantifiering av fosfortransporten och avskiljningen. Resultaten från den flödesproportionella provtagningen visade genomgående en högre belastning och avskiljning av totalfosfor (Tot-P) än den tidsstyrda. Även om den mest extrema av de fem perioderna räknas bort, så var den beräknade belastningen 40 % högre och avskiljningen dubbelt så hög, eller 0,044 kg total P/ha och dag. Förklaringen hänger förmodligen samman med enskilda tillfällen med höga flöden och transporter av suspenderat material, eftersom skillnaden i beräkning av SUSP-avskiljning mellan de två metoderna var ännu större. Den flödesproportionella provtagningen visade (för fyra av de fem perioderna) på en tre gånger högre belastning och en nettoavskiljning av SUSP på 10 kg/ha och dag medan den tidsproportionella indikerade en nettotillskott av SUSP från våtmarken på 10 kg/ha och dag. Sett över flera år har Slogstorp haft en mycket hög avskiljning av fosfor och SUSP med undantag för år 2002. Efter en rensning av våtmarken år 2003 var avskiljningen återigen mycket god, 87 kg/ha och år, av total P under 2004, vilket visar på behovet av återkommande skötsel av högbelastade våtmarker.

När det gäller kvantifiering av belastning och avskiljning av kväve var skillnaderna mellan metoderna betydligt mindre, och ingen systematisk skillnad mellan metoderna kunde urskiljas. Det beräknade kväveinflödet till Slogstorp var i stort sett detsamma oavsett provtagningsmetod, medan avskiljningen för denna korta period blev 30 % lägre med tidsproportionell provtagning. Om den första perioden räknas bort blir den totala avskiljningen istället 15 % högre för den tidsproportionella metoden. Man kan därför konstatera att de längre tidsserierna från skånska våtmarker (med tidsproportionell provtagning) förmodligen relativt väl återger den faktiska kväveavskiljningen. I Slogstorp motsvarar det ca 1500 kg/ha och år om man bortser från den extremt höga avskiljningen under första året.

Resultaten från denna studie tyder dock på att såväl belastningen som avskiljningen av fosfor (och SUSP) är underskattad i tidigare studier där resultaten bygger på tidsproportionell provtagning.

Våtmarken i Södra Stene har en låg belastning av såväl kväve som fosfor, 138 respektive 8 kg/ha och år, vilket bland annat hänger samman med att den utgör hela 2 % av avrinningsområdets area. Medelhalten av kväve var även relativt låg, knappt 4 mg/l, i förhållande till Slogstorp med 9 mg/l. Arean av den högbelastade våtmarken i Slogstorp motsvara endast ca 0,1 % av avrinningsområdets area. Däremot var fosforhalterna i Stene betydligt högre än i Slogstorp, 0,21 respektive 0,07 mg/l av total P. Jordarna i Mälardalen läcker ofta mer fosfor än i andra delar av Sverige, vilket kan vara en del av förklaringen. Dessutom tyder metodstudien på att fosforhalterna generellt underskattas om de baseras på en tidsproportionell provtagning som i Slogstorp. Slutligen innefattar beräkningen av halten i Stene en viss del enskilt avlopp, vilket även det påverkar halterna.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att Slogstorp tycks fungera som en mer effektiv fälla för fosfor än Stene, även i relativa termer (% av belastningen), trots den mycket högre belastningen. Eventuellt beror det på att Stene belastas med en högre andel löst fosfor än Slogstorp, och att detta kan vara typiskt för Mälardalsregionen. Data för att styrka detta antagande har inte samlats in eftersom det är svårt att få tillförlitliga analyser av löst fosfat om proven sparas i en provtagare under flera dagar. För kväve var Stene en mer effektiv fälla, uttryckt i % av belastningen, medan det i absoluta tal avskiljs betydligt mer kväve per hektar våtmark i den högbelastade Slogstorp.

1 Inledning

År 2001 fastställde riksdagen miljömålet *Myllrande våtmarker* enligt vilket minst 12 000 hektar våtmarker ska anläggas eller återställas i odlingslandskapet mellan år 2000 och 2010. De våtmarker som återskapas har flera positiva funktioner, bl.a. för rening av vatten, flödesutjämning och för att öka landskapets biologiska mångfald. Studier visar att våtmarker kan utgöra ett viktigt bidrag för att minska problemet med övergödning av havsmiljön, sjöar och vattendrag (Jordbruksverket 2004). Enligt Jordbruksverkets beräkningar förväntas 12 000 ha våtmarker i odlingslandskapet minska belastningen av kväve på havet med 2100 ton per år, vilket grundar sig på antaganden att reningseffekten i våtmarkerna i genomsnitt uppgår till 150-200 kg N/ha och år. Något kvantifierat mål för hur mycket fosfor som ska avskiljas i våtmarker finns inte, men målsättningen är att förlusterna av fosfor till sjöar och vattendrag ska fortsätta att minska (Jordbruksverket 2000).

Den nationella kunskapen om växtnäringsavskiljning i våtmarker i odlingslandskapet bygger huvudsakligen på undersökningar från södra Sverige; Skåne och Halland. De mest omfattande undersökningarna har genomförts inom Höje å och Kävlingeå-projekten i västra Skåne. Inom ramen för de bägge projekten har ett antal nyanlagda dammar följts upp med avseende på biologisk mångfald och näringsämnesavskiljning. Uppföljningen av näringsämnesavskiljning har huvudsakligen genomförts i tre anlagda dammar under 10 år, 8 år (Slogstorp) respektive 4 år, genom kontinuerlig "tidsproportionell" provtagning. Ytterligare en damm har undersökts extensivt med stickprovtagning varannan vecka under 7 år. Inom ramen för ytterligare ett projekt, Segeåprojektet, har ett 50-tal dammar inom sex avrinningsområden i sydvästra Skåne provtagits vid fyra tillfällen under ett år. Inom Segeåprojektet har även en damm provtagits kontinuerligt med tidsproportionell- och stickprovtagning under ett år.

Erfarenheterna från de skånska projekten har entydigt visat att dammar och våtmarker fungerar som fällor för såväl kväve som fosfor och suspenderat material. Reduktionen varierar dock och är beroende av flera faktorer. Den enskilt mest betydelsefulla faktorn är belastningen på dammen, dvs. hur mycket kväve, fosfor och suspenderat material som tillförs dammen. Belastningen är i sin tur beroende på storleken på dammens tillrinningsområde och koncentrationerna av näringsämnen i vattendragen (Ekologgruppen 2003 a). Den absoluta reduktionen av kväve har legat mellan 370 och 2500 kg/ha dammyta och år. För fosfor har avskiljningen varit 17-40 kg/ha och år.

Hittills har mycket begränsade uppföljningsinsatser gjorts i mellersta och norra Sverige vilket gör att det saknas ordentlig kunskap om våtmarkernas effekt som växtnäringsfällor i dessa delar av landet. Skillnader i klimat, jordarter och växtnäringsutlakning gör att man kan förvänta sig lägre reningseffektivitet än för motsvarande anläggningar längre söderut. Medan fokus i Sydsverige legat på kväve, p.g.a. närheten till havet, så är det relevant att i minst lika stor utsträckning titta på fosfor (som är normalt är tillväxtbegränsande i inlandsvatten) i regioner som Mälardalen, där recipienterna ofta utgörs av sjöar. Det senaste årets uppblossade diskussion och internationella expertutredning kring fosfor eller kväve som tillväxtreglerande faktor för Östersjön, har också ökat intresset för åtgärder som minskar transporten av fosfor från land till hav (se bl.a. Naturvårdsverket 2006).

Vid de uppföljningar som gjorts inom ramen för Höje å och Kävlingeå-projekten, har vattenprovtagningen i dammarnas in- och utlopp gjorts tidsproportionellt. Det innebär att

mängden vattenprov som samlas in varit konstant, d.v.s. proportionell mot tiden, och att ingen hänsyn tagits till hur stort flödet har varit. För att beräkna mängderna in och ut från dammen multipliceras sedan uppmätta halter med registrerade flöden. Metoden är enkel och robust, men i och med att de uppmätta halterna inte är flödesviktade finns risk för över- eller underskattning av beräknade transporterade mängder och avskiljning i dammarna. Denna risk föreligger framför allt om flödesvariationen har varit stor inom en provtagningsperiod (som normalt har varit 3-4 dagar). Exempelvis är det vanligt att halterna av såväl kväve som fosfor stiger vid ökande flöde. Följden blir då att den transporterade mängden underskattas vid såväl in- som utlopp. Det intressanta är dock huruvida man med denna metod i olika flödes-situationer under- eller överskattar skillnaden mellan in- och utlopp, d.v.s. avskiljningen. Detta kan endast undersökas genom att jämföra den tidsproportionella metoden med en flödesproportionell provtagning där den insamlade provmängden, och således också den uppmätta halten, alltid står i proportion till flödet.

Syftet med den uppföljning som sammanställts i föreliggande rapport har varit följande:

- Att utvärdera tillförlitligheten i de resultat som erhållits från den tidsproportionella provtagningen i Skåne sedan början av 1990-talet (genom metodjämförelse med flödesproportionell provtagning).
- Att få bättre kunskap om växtnäringsavskiljning i våtmarker i Mälardalen, utifrån en för regionen ”representativ” anläggning.
- Att jämföra reningsresultat från södra och mellersta Sverige och identifiera faktorer som påverkar skillnaderna.

Rapporten har sammanställts av Jonas Andersson, WRS Uppsala AB och Bengt Wedding, Ekologgruppen i Landskrona AB. Karin Tonderski, Linköpings universitet har bidragit med kommentarer och tolkningar av de erhållna resultaten.

I arbetet med att ta fram underlag för och utföra beräkningar av växtnäringsavskiljning i Södra Stene har flera personer varit delaktiga; Sofia Bastviken, doktorand vid Linköpings universitet samt Pia Kynkäänniemi och Marie Karlsson, examensarbetare vid avdelningen för vattenvårdslära, SLU. Vetenskaplig handledare för examensarbetena har varit Helena Aronsson vid avdelningen för vattenvårdslära.

Projektet har finansierats genom Stockholms läns landstings miljöanslag samt med medel från Naturvårdsverket, Jordbruksverket, Kävlingeå-projektet och Vattenstrategiska forskningsprogrammet (VASTRA), vilket finansierades av Mistra.

2 Undersökta våtmarker

De två våtmarker som undersökts i denna studie skiljer sig åt i många avseenden. För det första ligger de i två jordbruksområden med olika karaktär (t.ex. jordarter och odlingsmönster) och med olika hydrologiska förhållanden (t.ex. avrinningsmönster). För det andra är själva våtmarkerna av olika typ, och för att förtydliga detta har vi valt att

genomgående kalla anläggningen i Slogstorp för en damm, då den har en permanent väldefinierad vattenspiegel, och den i Södra Stene för en våtmark, eftersom den i stor utsträckning består av grunda vegetationstäckta vattenmiljöer.

Dammen i Slogstorp ligger i ett intensivt jordbrukslandskap där läckagen av näringsämnen till vattendragen är stora. Dessutom är tillrinningsområdet mycket stort i förhållande till dammens yta, vilket gör att näringsämnesbelastningen är extremt hög. Bortsett från att den hydrologiska belastningen är ovanligt hög, är förhållandena vid Slogstorpsdammen ganska typiska för nyanlagda dammar i regionen.

Våtmarken i Södra Stene är även den relativt typisk för sin region, med avseende på de anläggningar som har byggts med EU-stöd i östra Mälardalen sedan början av 2000-talet. I och med att lantbrukarna ofta har stått för en stor del av finansieringen, har brukarnas intresse varit i fokus. Det finns få anläggningar som enbart har anlagts för växtnäringsavskiljning. Förskönande av gårdsmiljön, ökad biologisk mångfald och möjligheter till jakt eller kräftodling är önskemål som ofta funnits med (Södereng 2006). Jämfört med våtmarker i Skåne är anläggningarna i många fall lågbelastade och har ofta en mindre andel jordbruksmark i avrinningsområdet.

Dessa skillnader måste naturligtvis tas i beaktande när vi analyserar och jämför resultaten från de båda anläggningarna.

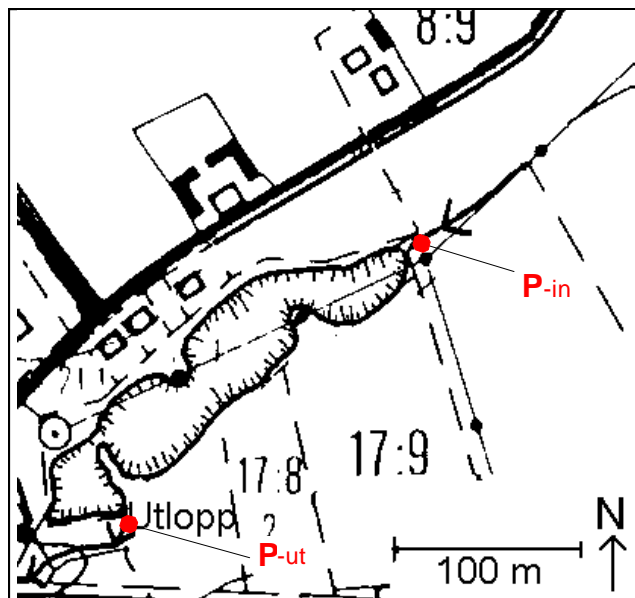
Tabell 1. Faktauppgifter för de undersökta anläggningarna. Värden inom parentes avser förhållandena före restaureringen i Slogstorp som gjordes i januari-februari 2003.

Våtmarksfakta	Slogstorp	Södra Stene
Anläggningen färdig	okt. -97	okt. -03
Provtagningen startad	okt. -97	april -04
Avrinningsområde area (ha)	880	98
Dammyta, medel (m ²)	8 000 (6 500)	21 000
Dammvolym, medel (m ³)	10 000 (7 000)	11 100
Teoretisk uppehållstid, medel (dygn)	0,8 (0,6)	48
Teoretisk uppehållstid, högvatten (tim)	3 (2,4)	72
Våtmarkens area/avrinningsområdets area	0,09 % (0,07 %)	2,2 %

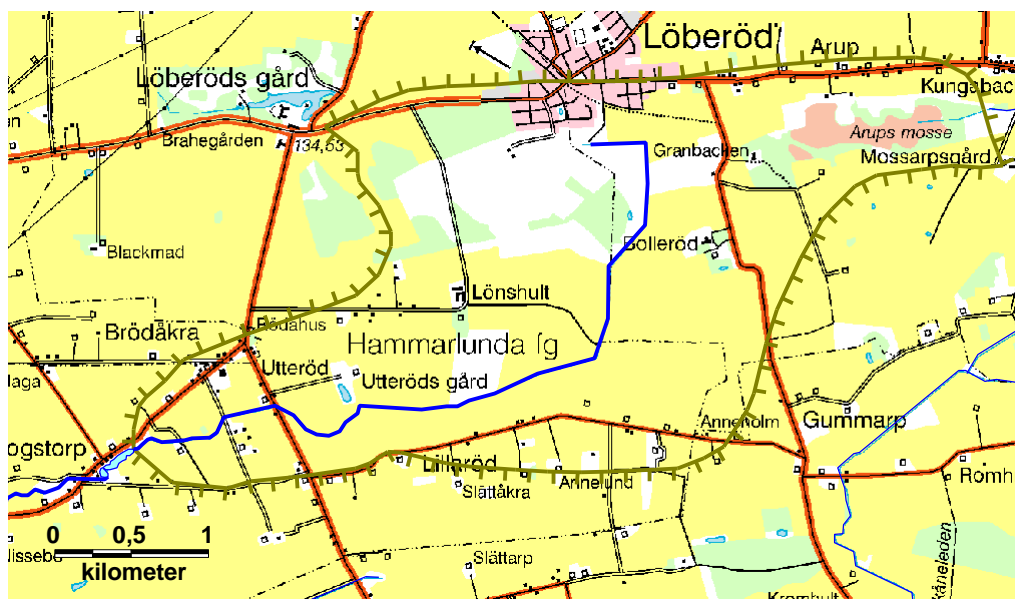
2.1 Slogstorp

Slogstorp är beläget ca 20 km öster om Lund inom Kävlingeåns avrinningsområde. Dammen vid Slogstorp är, som tidigare nämnts, mycket liten i förhållande till sitt avrinningsområde (tabell 1). Detta i kombination med höga näringsämneshalter (medelhalterna är för kväve knappt 9 mg/l och för fosfor knappt 70 µg/l) gör att dammen har en mycket hög näringsämnesbelastning. Inom avrinningsområdet finns ca 5 km öppet vattendrag, ca 85 % utgörs av åker- och betesmark, ca 10% är skog och 3 % utgörs av tätbebyggelse (fig. 2). Dammen är konstruerad som en utvidgning av en bäck samt sammankopplad med en sedan tidigare befintlig kvarndamm (fig. 1). Upphållstiden för vattnet i dammen varierar mellan ca 3 timmar och 4 dygn och är vid medelvattenföring ca 20 timmar. Mätningar av näringsämnesreduktionen i dammen, med tidsproportionell provtagning, inleddes i oktober 1997, strax efter det att dammen hade färdigställts, och pågick kontinuerligt fram till mars

2005. Den jämförande metodstudie som presenteras i denna rapport genomfördes under perioden november 2005 - juli 2006. I februari 2003 utvidgades och fördjupades dammen, i samband med rensning, till sin nuvarande storlek (tidigare ca 0,65 ha).



Figur 1. Karta över dammen i Slogstorp. P avser provtagningspunkternas placering.



Figur 2. Karta över avrinningsområdet till dammen i Slogstorp. Avrinningsområdet avgränsas med grön tvärstreckad linje.

Undervattensvegetationen i Slogstorpsdammen har dominerats av vattenpest (*Elodea canadensis*), som vissa år har täckt i stort sett hela vattenvolymen från botten till vattenyta. I strandkanten har med tiden etablerats en bård av högvuxna vassbildande arter, dominerad av

igelknopp (*Sparganium erectum*), bredkaveldun (*Typha latifolia*) och skogssäv (*Scirpus sylvaticus*). Undersökningar av den biologiska mångfalden (vegetation, plankton, bottenfauna och fåglar) har gjorts vid flera tillfällen (Ekologgruppen 2003 b).

2.2 Södra Stene

Södra Stene är beläget vid sjön Sillen, mellan tätorterna Gnesta och Vagnhärad i Södermanland. Våtmarken anlades sommaren 2003 med EU-stöd (LBU-projektstöd) och togs i drift under hösten samma år. Anläggningen är ca 2,1 hektar stor och ligger i en dalgång ca 75 m uppströms Sillen (tabell 1). Merparten av tillflödet sker via en kulverterad stamledning som avvattnar ca 80 ha mark (område 1; fig. 3). Avrinning sker också mer diffust till våtmarken, via ytavrinning och klenare dräneringsledningar, från ca 16 ha mark belägen öster respektive väster om anläggningen (område 2 och 3; fig. 3).

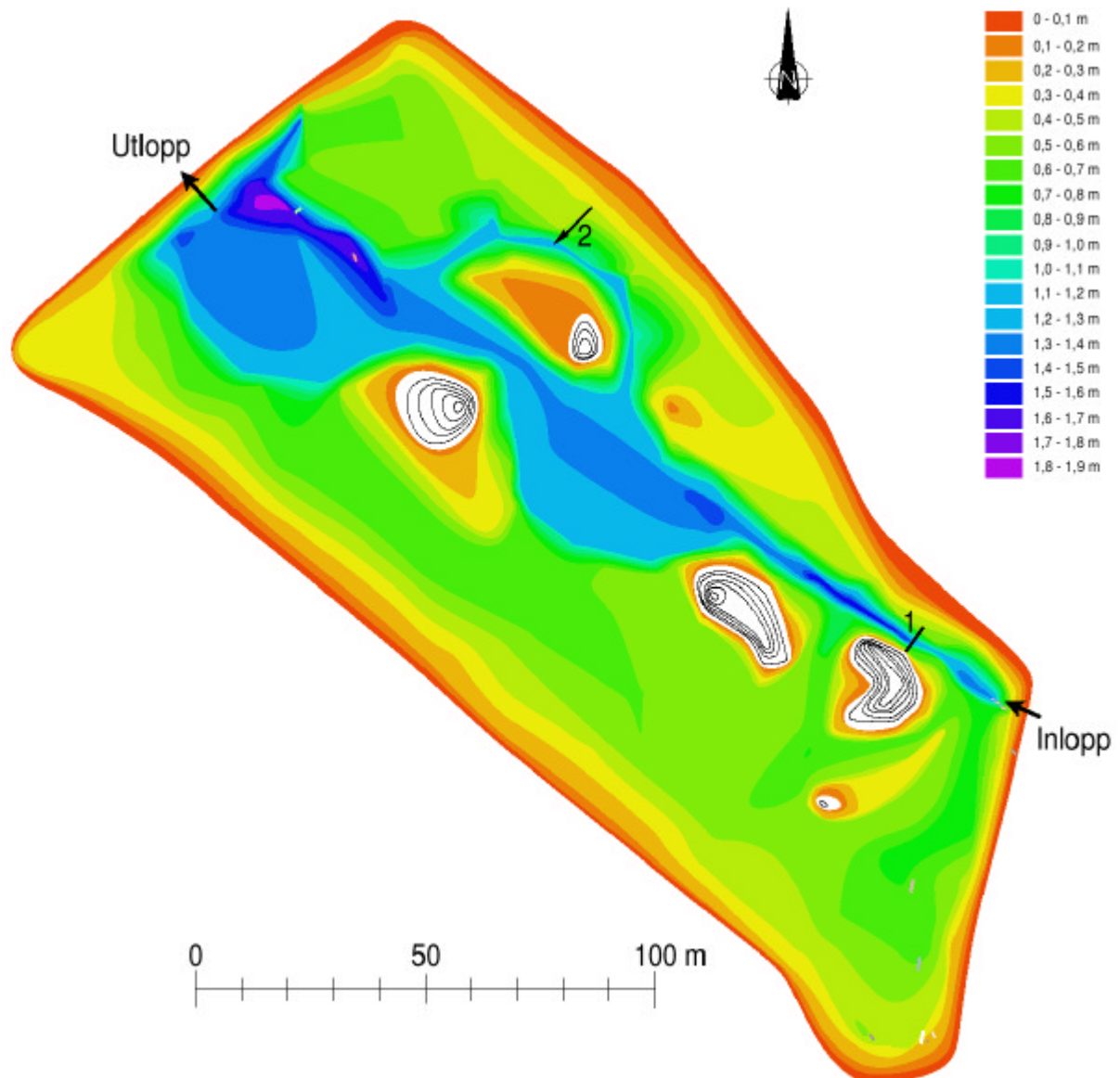


Figur 3. Karta över avrinningsområdet till våtmarken i Södra Stene med de tre delavrinningsområdena (1-3). Område 4 utgörs av våtmarken (efter Karlsson 2005).
© Lantmäteriverket Gävle 2006. Medgivande I 2006/2090 .

Avrinningsområdet omfattar totalt 96 ha, vilket fördelar sig på 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 våtmarkens östra del. Våtmarken har sitt utlopp i ett kort dike som mynnar i Sillen.

Mätningar av näringsämnesreduktionen i våtmarken pågår sedan april 2004 med flödesproportionell provtagning. Anläggningen är lågbelastad i jämförelse med Slogstorp. Den flödesviktade medelhalten av kväve i inkommande vatten är ca 3,6 mg/l och för fosfor ca 210 µg/l. Uppehållstiden för vattnet i våtmarken varierar kraftigt, men är vid medelvattenföring ca 57 dygn (Kynkäänniemi 2006).



Figur 4. Djupprofil av våtmarken i Södra Stene. Nivåangivelser avser djup vid högvatten. Vid normalvattenstånd är djupet ca 1-2 dm lägre. Den flödesavskärande presenning som monterats i det gamla diket är placerad vid 1 och dräneringskulverten som leder behandlat hushållsspillvatten till våtmarken mynnar i punkt 2.

Anläggningen är i huvudsak relativt grund, 20-30 cm. 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 (fig. 4). I anläggningen finns fyra större öar. Vegetationen domineras av bredkaveldun (*Typha latifolia*). Vegetationen har slagits av på grundområdena under sensommaren 2004 och 2005 och i samband med detta har våtmarken tillfälligt sänkts ner.

Under hösten 2005 monterades en skärmvägg (presenning) vertikalt över det gamla diket, ca 25 m efter våtmarkens inlopp (fig. 5), 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.



Figur 5. Den flödesavskärande presenningen som monterats i våtmarken i Södra Stene (våtmarken var vid fototillfället avsänkt för skötselåtgärder).

3 Metodik

3.1 Vattenföringsmätning

3.1.1 Slogstorp

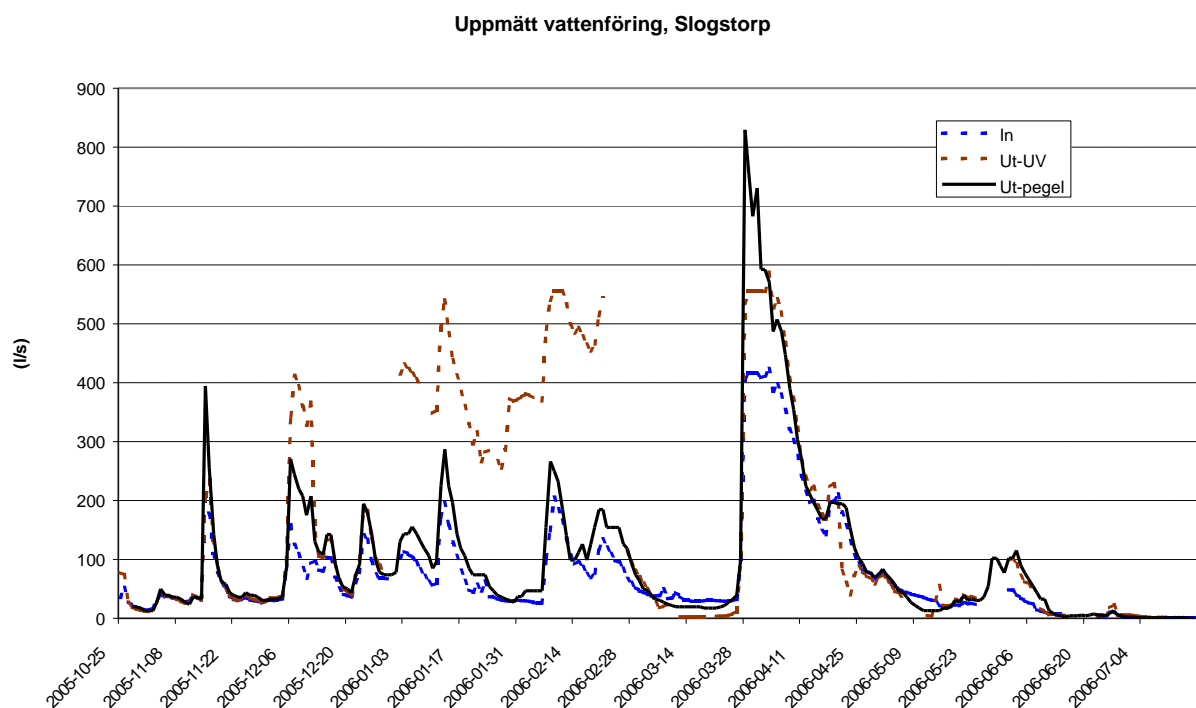
I Slogstorp har det sedan mätningarna inleddes funnits en fast monterad pegel som kontinuerligt registrerat vattennivån i utloppet. Utloppet sker genom ett rektangulärt överfall, vilket är 80 cm brett upp till 30 cm nivå över utloppströskeln (denna nivå är dock reglerbar och har inte heller varit fast under den genomförda mätningen). Ovanför denna nivå är överfallets bredd 430 cm (se bild i bilaga 1). Den uppmätta vattennivån omräknas, via avbördningskurva för den aktuella regleringsnivån, till dygnsmedelflöde. Vattennivån har registrerats året om, även under semesterperioder då det varit uppehåll i vattenprovtagningen. Utloppet är konstruerat så att avbördningskurvorna har kunnat tas fram genom beräkningar med kända formler. Vid enstaka tillfällen har provtagning med utspädningsmetodik gjorts i fält för att kontrollera att avbördningskurvorna stämmer överens med uppmätta flöden.

Under den aktuella undersökningen har den fasta pegeln kompletterats med flödesmätare vid vardera in- och utlopp. I inloppet användes en tryckgivare (Hach Lange 3102) med en

noggrannhet på ± 5 mm. För detta ändamål anlades vid inloppet ett betongjutet överfall med triangulärt snitt i botten (upp till 10 cm överfall) och däröver rektangulärt överfall med en bredd på 1 m upp till 40 cm överfall. Dämnet blev inte helt tätt vid sidorna och därför underskattades vattenföringen i beräkningarna vid höga nivåer. Dock har kalibreringen av flödet vid inloppet ansetts tillräckligt bra för att ge en tillfredsställande styrning av provtagningen.

Tryckgivaren var kopplad till en flödesmätare (PU 2001) som i sin tur styrde provtagningen. Vid utloppet användes en ultraljudsgivare (Hach Lange U2000) med en mät noggrannhet på ± 2 mm, vilken liksom vid inloppet var kopplad till en flödesmätare. Förutom att flödesmätarna styrde provtagarna, registrerades även de uppmätta flödena digitalt i data-loggar (Tinytag Plus, 0-20 mA) var tionde minut. Tanken var ursprungligen att den digitala flödeskurvan vid utloppet skulle användas för transportberäkningar. Eftersom dänningsnivån reglerades vid ett antal tillfällen under försöksperioden, visade det sig dock enklare och pålitligare att konsekvent använda flöden erhållna från den mekaniska pegeln för beräkningar.

Om man tar hänsyn till de felregistreringar av flödet som beror på ändrad dänningsnivå i utloppet och en permanent underskattning av höga flöden i inloppet (ger för låga flöden vid vattenföringar över ca 50 l/s), så stämmer de tre kurvorna relativt bra överens under större delen av mätperioden (fig. 6).



Figur 6. Uppmätt vattenföring i Slogstorp, med tryckgivare vid inloppet och med pegel respektive ultraljudsgivare (Ut-UV) vid utloppet. För In och Ut-UV visas kurvor som inte är kompenserade för ändrad utloppsreglering eller felaktig kalibrering (se text). Med hänsyn till dessa felregistreringar är överensstämmelsen generellt god mellan de tre kurvorna.

Under perioden 2/12-12/12 var utloppsdämnet höjt utan att flödeskurvans kalibrering ändrades. Registrerat flöde är därför ca 150 l/s för högt. Den flödesstyrda provtagningen vid

utloppet har dock inte nämnvärt störts av detta eftersom provuttag skedde i samband med regleringen. Under perioden 2/1-23/2 är utloppskurvan felkalibrerad med 250-400 l/s p.g.a. höjd reglering. Under denna period togs inga flödesproportionella prover. Vid tre tillfällen (syns framför allt i månadsskiftet mars-april) har både in- och utflöde överskridit inställt maxvärde. Med nu vunnen erfarenhet torde det dock inte vara några större problem att få ut pålitliga flödeskurvor från såväl ultraljudsgivare som tryckgivare. Den aktuella vintern var isbildningen vid såväl in- som utlopp tidvis kraftig och då fungerar tryckgivaren bäst. Vid isfria förhållanden fungerar ultraljudsgivaren utmärkt, och den är inte heller lika känslig som tryckgivaren för att rubbas i höjddled.

3.1.2 Södra Stene

Även i Södra Stene registreras vattenflödet fortlöpande i både in- och utlopp. Inloppet utgörs av en rörledning med innerdiameter 45 cm som under normala förhållande är helt dämnd, dvs. mynningen ligger under våtmarkens normalvattenyta. Flödet i ledningen mäts med en så kallad area/hastighetsgivare (SIGMA). 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).

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

På grund av att inflödesdata periodvis inte är tillförlitliga, så 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 använts för korrigering av flödet (Kynkäenniemi 2006).

$$Q_{Inlopp} = 0,816 \times Q_{Utlopp} \quad (1)$$

Utloppet i Södra Stene består av en brunn i vilken ett 60° triangulärt skibord är installerat. Även här sker flödesmätning och vattenprovtagning med en provtagare av typen SIGMA 900 MAX. En tryckgivare (SIGMA) registrerar kontinuerligt vattennivån noggrannhet (± 7 mm) och flödet beräknas utifrån kända formler (enligt ISO 1438-1). Vid både in- och utlopp loggas data med 5-minutersintervall.

I februari 2006 gjordes mätningar av flödet i utloppsbrunnen med hink och stoppur, för att kontrollera det flöde som räknas fram av datorn i provtagaren. Resultatet efter upprepade mätningar visade på en god överensstämmelse.

Flödesdata saknas periodvis i både in- och utloppet, då tekniska problem uppstått eller när flödesdata inte kunnat beräknas på grund av att vattennivån varit för låg efter sänkning av våtmarken. När inte interpolering kunnat utföras, har utloppsflödet antagits vara lika med det uppmätta inloppsflödet dividerat med faktorn 0,816. Under november 2005 framräknades dock utloppsflödet ur våtmarkens volymmodell, då ett felaktigt inloppsflöde registrerats under denna period. Volymmodellen baseras på djupkartan (fig. 4) och beskriver våtmarkens volym vid olika vattennivåer.

I Södra Stene finns också en nederbördsjäkmätare ansluten till mätstationen i inloppet. Nederbörden mäts av ett vippkärl vars tippningar registreras i mätstationens datalogger.

Provtagningsuppställningen i Slogstorp och Södra Stene presenteras utförligt i bilaga 1 och 2.

3.2 Vattenprovtagning

3.2.1 Slogstorp

I Slogstorp har vattenprov tagits kontinuerligt, vid såväl in- som utlopp, sedan oktober 1997. Proverna har tagits med hjälp av batteridrivna slangpumpar (Watson Marlow) och blir "tidsproportionella" eftersom pumphastigheten är konstant oavsett flödet. Vattnet samlas upp i ljusisolerade plastdunkar som töms för analys ca 2 ggr per vecka. Slangpumparna tar prov med en hastighet av drygt 1 ml/min, vilket innebär att dunkarna normalt innehåller ca 5-8 liter vatten vid provtagningstillfället. Av detta förs 1,5 liter över till provflaskor för vidare transport till laboratorium. Batterierna (12V, 12Ah) byts en gång per vecka för uppladdning.

När den tidsproportionella provtagningen ej har fungerat har samlingsprovet ersatts med ett stickprov som tagits direkt i provflaskorna. Vid uppehåll i provtagningen, som varar längre än en vecka, stängs provtagarna av och självklart blir då det första provet efter uppehållet ett stickprov.

Denna typ av provtagning jämförs här med den andra metoden som är den flödesproportionella. Provtagarna (PSW 2000), som är av vacuumtyp, har varit inställda så att ett 30 ml stickprov tas varje gång en viss vattenvolym (beräknad av ovan nämnda flödesjäkmätare) har passerat provpunkten. Denna volym har ställts in så att det vid rådande "basflöde" ska genereras ett stickprov ett par gånger i timmen, vilket ger en tillräckligt stor och samtidigt hanterbar volym vid tömning. Provet har samlats i ljusskyddade 25-liters dunkar som tömts vid samma tillfällen som den tidsstyrda provtagningen, d.v.s. normalt 2 gånger per vecka. Då provtagningen har misslyckats har provet vanligtvis inte ersatts av stickprov. Det ansågs inte meningsfullt eftersom syftet med undersökningen var att studera skillnaden mellan de bägge provtagningsmetoderna. Undantaget är de tre sista provtagningarna i juli. Under denna period var flödet mycket lågt (svagt avtagande) vilket gjorde att flödeskalibreringen vid utloppet inte fungerade ordentligt och därmed inte heller den automatiska provtagningen. Samtliga dessa tre utloppsprover är stickprov. Även vid inloppet fanns under denna period provtagarproblem som gjorde att provmängden blev för liten. Här har det uppsamlade provet använts för N- och P-analyserna medan stickprov tagits för analys av suspenderad substans (SUSP). Eftersom det var under en period med stabilt flöde ansågs ett stickprov vara tämligen likvärt med ett flödesproportionellt samlingsprov.

3.2.2 Södra Stene

I Södra Stene tas vattenprover flödesproportionellt, vilket där i praktiken innebär att de kombinerade flödesmätarna/provtagarna automatiskt tar ett vattenprov av en bestämd volym när en bestämd mängd vatten passerat. 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 provtagningskärlens kapacitet. Provtagningsvolymer har varierat från 15 till 100 ml och provtagningsintervallet från 3 till 25 m³ passerad vattenvolym (dock normalt minst ett prov per timme).

Vatten samlas i 11 liters ljusskyddade platsflaskor i respektive provtagare, vilka töms för analys en gång per vecka (normalt torsdag morgon). Provtagaren saknar kylanläggning, men skyddas från frysning av en frostvakt vintertid. Vattenproverna skickas till analyslaboratoriet var annan vecka, varför prover som tas den vecka då ingen hämtning sker fryses för konservering. När provtagarna har varit ur funktion, vilket skett vid upprepade tillfällen, har stickprover tagits.

Vid tillfällen då prover inte kunde tas och värden saknades gjordes en linjär interpolering mellan uppmätta halter i intilliggande provtagningar, förutom under sänkningen av våtmarksytan september-oktober 2005 då inga prover togs i våtmarkens inlopp.

3.3 Analyismetoder

3.3.1 Slogstorp

Analyser av proverna från Slogstorp har utförts på Tekniska förvaltningens VA-Lab i Lund. Proverna är analyserade med avseende på halterna av ammoniumkväve, nitratkväve, totalkväve, fosfatfosfor, totalfosfor och suspenderat material.

Ammoniumkväve, nitratkväve och fosfatfosfor har huvudsakligen analyserats med ampullmetoder (Dr. Lange, Lasa, LCK 304, LCK 339 respektive LCK 349). Metoderna har validerats genom jämförande analyser mot metoder enligt svensk standard (för vilka laboratoriet är ackrediterat) samt genom regelbundna mätningar av kontrollprover.

Analyserna av totalkväve, totalfosfor och suspenderad substans har utförts i enlighet med svensk standard (SS-028131-2; totalkväve enligt metod anpassad för körning på autoanalyser, SS 028127-2; totalfosfor och SS-EN 872-1; suspenderad substans). Totalfosfor och totalkväve analyseras som dubbelprover (totalkväve vanligtvis genom beredning av två provlösningar med olika spädfaktor).

Mätosäkerheten för de olika parametrarna är ofta större än vad skillnaden mellan halterna in och ut är. För att minimera effekten av det tillfälliga mätfelet har därför in- och ut-prover alltid analyserats i följd vid samma tillfälle.

3.3.2 Södra Stene

Analyser 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 SWEDAC enligt SS-EN ISO/IEC 17025 och de vattenkemiska analysmetoder som använts specificeras i tabell 2.

Tabell 2. Vattenkemiska analysmetoder som användes av ALcontrol AB vid analysering av Södra Stene våtmarks vattenprover.

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

3.4 Resultatbearbetning

3.4.1 Slogstorp

Resultaten av de tidsproportionella provtagningar (långtidsresultaten) som utförts i Slogstorp baseras på de mätningar som gjorts t.o.m. februari 2005. Beräkningarna har gjorts på dygnsbasis. Medelvärdet för dygnsflödet fås, via avbördningskurvan, från dygnets medelvattennivå vid utloppet. Utloppsflödet har (utan tidsförskjutning) använts för mängdberäkning vid såväl in- som utlopp.

För de parametrar som ingår i beräkningar av massbalanser (totalkväve, totalfosfor och suspenderad substans) används följande beräkningssätt:

1. Om det aktuella provet är ett samlingsprov används den erhållna halten som dygnsmedelvärde för samtliga dagar fr.o.m. dagen efter föregående provtagning t.o.m. provtagningsdagen.
2. Om det aktuella provet är ett stickprov används den erhållna halten som medelvärde för provtagningsdagen. Dygnen mellan föregående provtagning och den aktuella provtagningen erhåller en interpolerad halt.
3. Vid långa provtagningsuppehåll (semester under sommaren) används, som dygnsmedelvärde, medelvärden för de halter som uppmätts vid ca 10 provtagningstillfällen närmast före och efter uppehållet.

För att få fram transporterade mängder av de olika ämnena multipliceras dygnsflödet med den beräknade medelhalten.

I beräkningarna har ingen hänsyn tagits till vare sig direkt nederbörd på eller avdunstning från dammen. Ej heller har hänsyn tagits till eventuellt utbyte med grundvatten eller direkt tillrinning till dammen.

För den flödesproportionella provtagningen har beräkningar gjorts på samma sätt som för den tidsproportionella. Då det uppstod en hel del problem under studiens gång är provtagningen indelad i fem perioder under vilka provtagningen fungerade i stort sett utan större malörer. Inga ansatser har gjorts att interpolera värden i mellanperioder när provtagningen inte har fungerat. Detta ansågs inte meningsfullt eftersom syftet med studien har varit att jämföra de två metoderna och inte att få fram en relevant mängdberäkning för hela undersökningsperioden.

3.4.2 Södra Stene

I massbalansberäkningarna för Södra Stene har inkommande flöde *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 förskjutning gjorts. För kontroll har dock provats att göra en förskjutning av inkommande koncentration en respektive två dagar bakåt. Detta antogs vara relativt rimligt då flödet i våtmarken (även vid utloppet) hade en snabb respons på nederbörden.

Den koncentration som mäts i våtmarkens inlopp motsvarar delavrinningsområde 1, som enligt Karlssons modell- och schablonberäkningar (Karlsson, 2005) stod för 79 % av kväve- och 79 % av fosforbelastningen till våtmarken 2004. I denna fördelning är inte hushålls-spillvattnet inräknat.

Tillkommande flöden och näringsbelastning från behandlat hushållsspillvatten samt från delavrinningsområde 2 och 3 har tagits med i beräkningarna. Tillsammans beräknas område 2 och 3 bidra med 21 % Tot-N och 21 % Tot-P, då de innehöll en större andel åkermark än område 1. Den förväntade belastningen beräknades således med ekvationerna 2 och 3 (Kynkäänniemi 2006).

$$TN_{omr2\&3} = Q_{in} \times C_{in} / 0,79 \times 0,21 \quad (2)$$

$$TP_{omr2\&3} = Q_{in} \times C_{in} / 0,79 \times 0,21 \quad (3)$$

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

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

$$(Avskilj)_n = (IN_{omr1})_n + (IN_{omr2\&3})_n + Avl - (Ut)_n \quad (4)$$

där $Avskilj_n$ avser avskiljningen (av kväve respektive fosfor) för dagen n i kg/dygn, $(IN_{omr1})_n$ inflödet från område 1, $(IN_{omr2\&3})_n$ inflödet från område 2+3, Avl är avloppsbelastningen (konstant) och $(Ut)_n$ är utflödet för beräkningsdagen n .

Liksom i beräkningarna för Slogstorp, har ingen hänsyn tagits till nederbörd på eller avdunstning från våtmarken, eller till eventuellt utbyte med grundvatten.

4 Resultat med kommentarer

4.1 Allmänt

Resultaten som redovisas i denna rapport omfattar för Slogstorp dels perioden oktober 1997 till och med februari 2005 under vilken tidsproportionella mätningar gjorts, och dels perioden november 2005 till och med juli 2006, då den metodjämförande studien gjorts. För Södra Stene redvisas resultat från de två första provtagningsåren, april 2004 till och med mars 2006. Data har bearbetats fram till och med april 2006 och i några fall presenteras även resultat för april 2006.

Fokus i resultatredovisningen för dammen i Slogstorp ligger på metodjämförelse mellan de två provtagningsmetoderna. För våtmarken i Södra Stene ligger fokus på att beskriva anläggningens funktion som växtnäringsfälla och belysa faktorer som påverkar läckaget av växtnäring från avrinningsområdet. Jämförelser mellan resultaten från anläggningarna görs i diskussionsavsnittet.

4.2 Slogstorp

I den jämförande provtagningen mellan flödesproportionell (FP) och tidsproportionell (TP) provtagning kan man konstatera att det finns mycket stora skillnader mellan metoderna (tabell 3). Skillnaderna syns framför allt på de beräknade mängderna av suspenderat material (SUSP). De stora skillnaderna i SUSP återspeglas i hög grad även i resultaten för fosfor, medan skillnaderna är mindre när det gäller kväve. De observerade skillnaderna behöver inte bara ha att göra med metoderna som sådana (flödesproportionell kontra tidsproportionell), utan kan också bero på att själva provtagningstekniken ger mer eller mindre representativa prover.

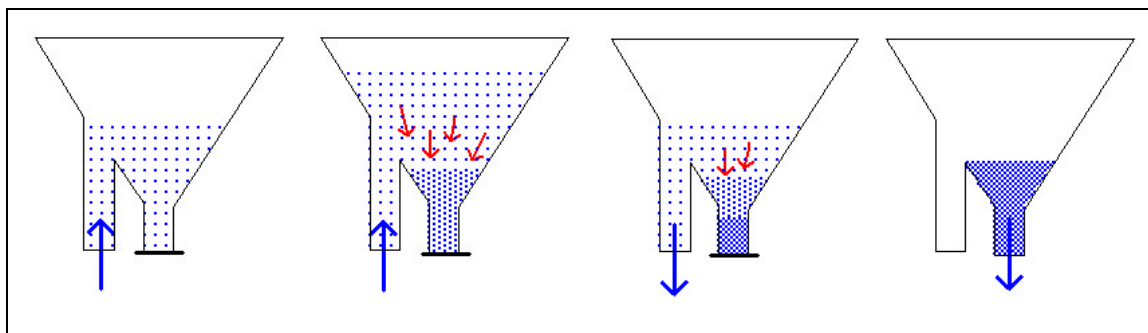
Tabell 3. Resultat från jämförande provtagning i Slogstorp. Samtliga värden är angivna i kg per ha dammyta och dygn. FP = flödesproportionell provtagning, TP = Tidsproportionell provtagning.

Tidsperiod och metod		Total N (kg/ha/dygn)		Total P (kg/ha/dygn)		SUSP (kg/ha/dygn)	
		Belastning	Avskiljning	Belastning	Avskiljning	Belastning	Avskiljning
Period I	FP	78,5	11,72	1,859	1,129	419,7	354,0
	TP	48,5	4,40	0,522	0,089	6,4	-0,3
Period II	FP	149,4	-0,21	1,023	0,125	61,7	43,6
	TP	150,8	5,46	0,831	0,021	20,2	1,5
Period III	FP	214,8	3,22	1,031	-0,027	63,9	6,8
	TP	211,7	2,63	0,758	0,019	32,4	-37,4
Period IV	FP	28,0	2,46	0,319	0,132	27,6	17,9
	TP	26,6	2,19	0,179	0,049	7,5	1,8
Period V	FP	1,4	0,64	0,050	0,033	1,8	0,2
	TP	1,2	0,62	0,017	0,007	0,3	-0,5
Totalt	FP	93,6	3,85	0,812	0,258	109,7	77,3
	TP	86,8	2,70	0,425	0,038	13,8	-9,8
Per II-V	FP	78,7	1,63	0,460	0,044	30,2	10,3
	TP	77,6	1,87	0,327	0,021	12,6	-9,7

Generellt kan man konstatera att FP provtagning ger högre beräknade mängder av SUSP och fosfor, och i viss mån kväve, än TP provtagning. Det kan, utöver naturliga skillnader mellan FP prover och TP prover, bero antingen på en underskattning av halten i TP prover eller en överskattning av halten i FP prover, eller en kombination av båda. Vi kan urskilja huvudsakligen tre sätt på vilket detta har skett.

1. Underskattning av halten i TP prover kan bero på att sughastigheten i provtagaren är för långsam. Det leder till att provtagaren inte förmår suga upp grövre och tyngre partiklar och att provet därmed blir underrepresenterat på den kornstorleksfraktion som framförallt vid höga flöden kan vara mycket betydande. Dessutom finns en begränsning i slangens diameter som gör att partiklar större än en dryg mm knappast kommer att sugas upp.

2. Överskattning av halten i FP prover kan uppstå genom att "tunga" partiklar hinner sedimentera i botten på provkoppens innan vattnet runnit tillbaka i retur genom provslangen (fig. 7). Alltså, provkoppens konstruktion gör att sedimentpartiklar anrikas i den del av provvattnet som tas ut till det samlade provet.



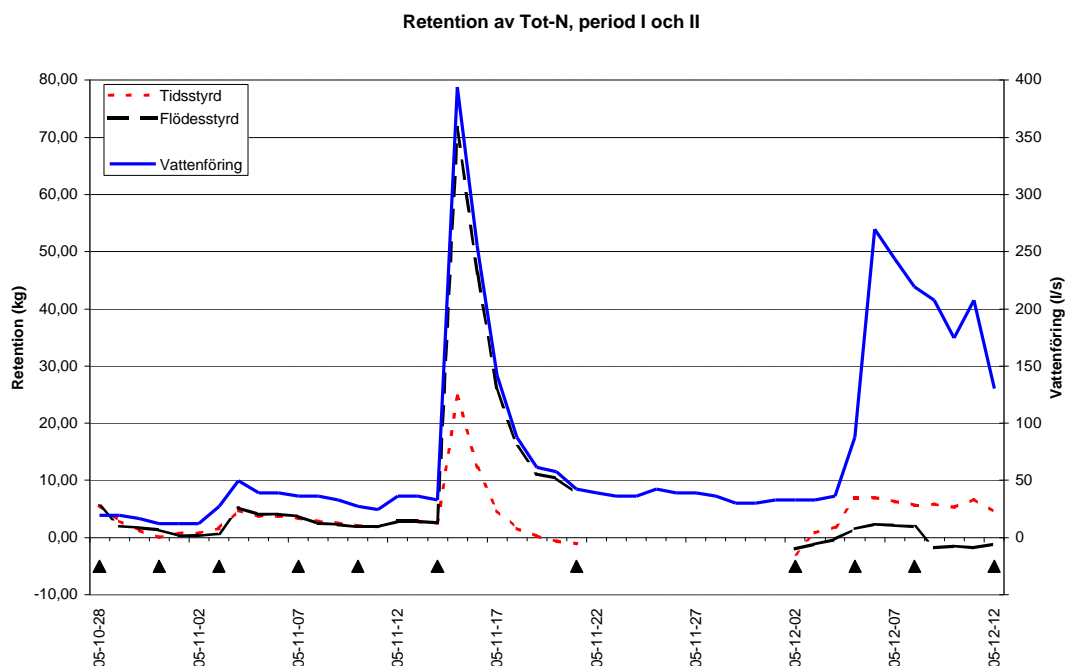
Figur 7. Illustration av hur sedimentpartiklar anrikas i den del av provvattnet som tas ut till det samlade provet.

3. Överskattning av halten i FP prover skulle också kunna orsakas av att utblåsningssekvensen, som sker omedelbart innan provet suggs upp, gör att bottensedimenten sätts i suspension och suggs in med provvattnet. Också om mynningen på provslangen ligger för nära botten kan man tänka sig att bottensediment suggs in oavsett tidigare uppgrumling. Troligtvis är risken för denna typ av överskattning inte så stor i detta fall. Dels har vi haft god koll på provslangens placering, och dels är risken för denna typ av uppgrumling knappast påtaglig vid högvatten och höga vattenhastigheter då den största transporten av SUSP sker. Möjligen kan detta orsaka överskattade SUSP-halter vid lågvattenföring.

Att skillnaden mellan metoderna är störst vid inloppet har en naturlig förklaring i att inloppsvattnet har en högre andel större partiklar än vad utloppsvattnet har, vilket beror på att dessa partiklar sedimenterar i dammen när vattenhastigheten sjunker. Skillnaden kan då förklaras både av att SUSP-halten underskattas i TP proverna och att de överskattas genom anrikning av tunga partiklar i FP proverna. För att reda ut detta behövs en mer ingående studie, men det mest sannolika är att det huvudsakligen är en underskattning av halten i TP-proverna. Den enorma skillnaden mellan FP provet och ett stickprov under höglödestoppen i period I (gäller såväl kväve som fosfor och SUSP; se nedan) visar också att det kan vara förödande att göra transportberäkningar på stickprov om de inte är representativa för perioden som helhet. Eftersom resultatet från period I av denna anledning är behäftat med en mycket stor osäkerhet (avhängig av en enda provtagning), har vi valt att göra en summering där period I är borträknad. Även om den stora skillnaden i ett prov under period I inte är ointressant, tror vi att en summering av period II-V ger en mer realistisk bild av verkligheten, och våra slutsatser baseras därför i huvudsak på denna.

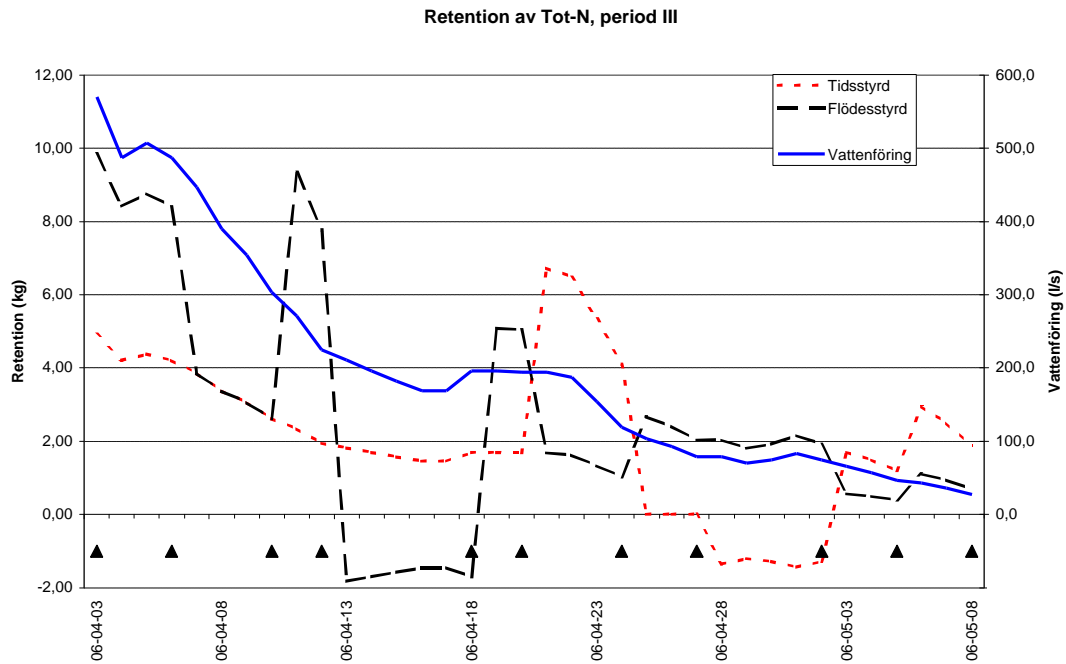
4.2.1 Kväve

Under hela perioden avskiljdes 407 kg kväve enligt den flödesproportionella metoden och 285 kg enligt den tidsproportionella. Det motsvarar en relativ avskiljning på 4,1 % respektive 3,1 %, vilket är jämförbart med den årliga relativa avskiljning som uppmätts tidigare i Slogstorpsdammen. Motsvarande siffror om period I räknas bort är för FP 172 kg (2,1%) och för TP 197 kg (2,4%). Alltså en något högre avskiljning för TP metoden. Av figurerna (8-10) framgår att det inte konsekvent är en metod som ger högre avskiljning, utan att det kan skifta snabbt från prov till prov, och att det är reduktionen vid ett fåtal enskilda provtagningar som avgör totalbilden. Det är svårt att, utan statistiska analyser, se något mönster och avgöra om det är i speciella flödessituationer som de stora skillnaderna mellan metoderna uppträder.

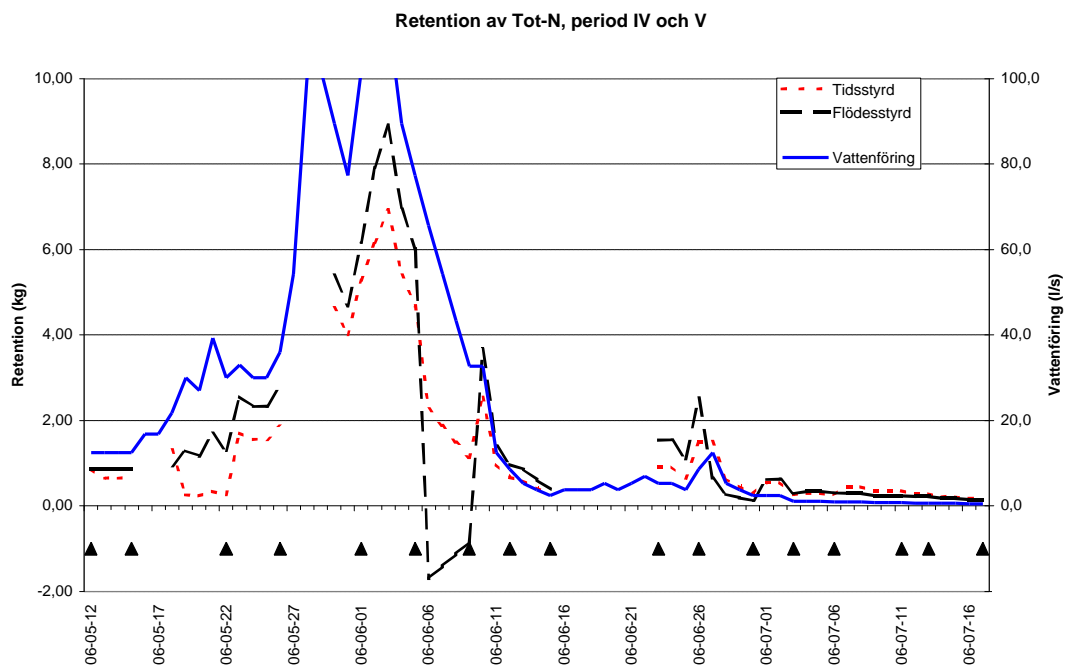


Figur 8. Avskiljning av totalkväve i dammen Slogstorp under provtagningsperiod I (t.o.m. 21 nov) och II (fr.o.m. 2 dec). Jämförelse av resultat mellan tidsproportionell och flödesproportionell provtagning. Pilar anger provhämtningsdagar.

När det gäller de beräknade mängderna in och ut är skillnaderna, med undantag av period I, ganska små mellan de olika metoderna. För den totala transporten under de fem mätperioderna är den tidsproportionellt beräknade mängden kväve ca 6-7 % lägre än den flödesproportionella. Om period I räknas bort är det i stort sett ingen skillnad alls.

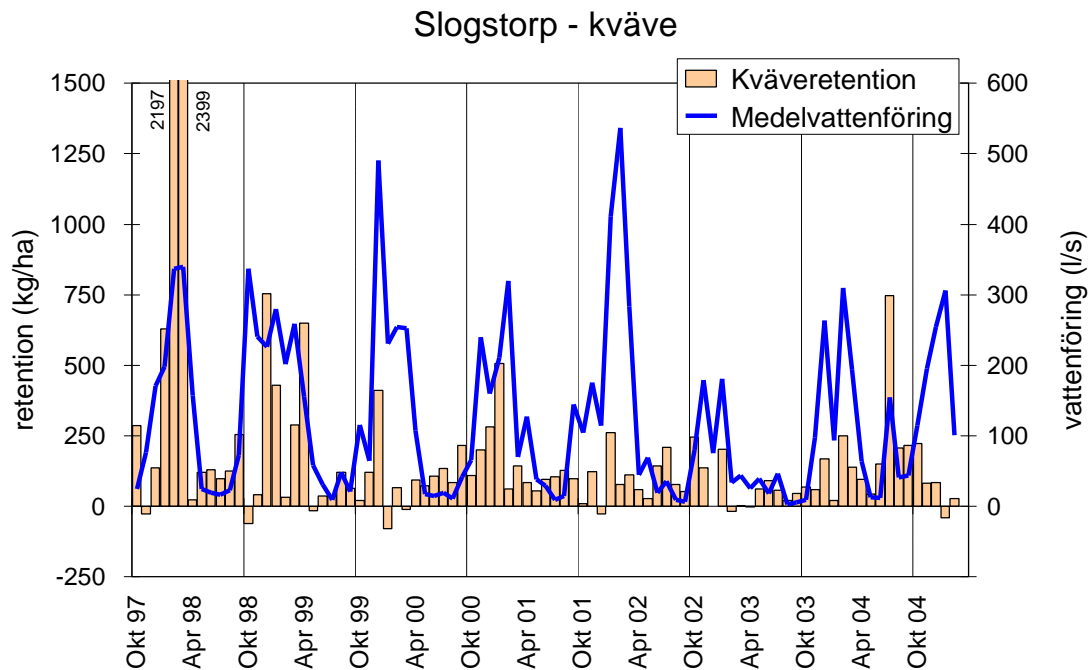


Figur 9. Avskiljning av totalkväve i dammen i Slogstorp under provtagningsperiod III. Jämförelse av resultat mellan tidsproportionell och flödesproportionell provtagning. Pilar anger provhämtningsdagar.



Figur 10. Avskiljning av totalkväve i dammen i Slogstorp under provtagningsperiod IV (t.o.m. 15 juni) och V (fr.o.m. 23 juni). Jämförelse av resultat mellan tidsproportionell och flödesproportionell provtagning. Pilar anger provhämtningsdagar.

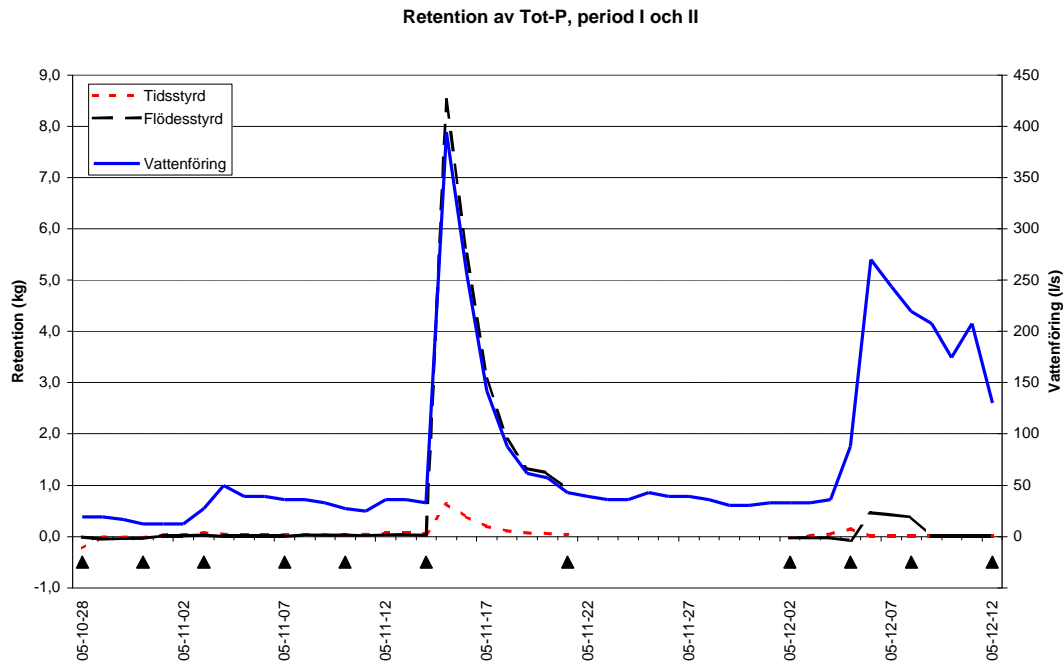
Långtidsresultatet (7,5 år, se bilaga 4) för Slogstorp ger en genomsnittlig årlig kväveavskiljning på drygt 2000 kg/ha dammyta. Detta resultat är påverkat av en extremt hög beräknad kväveavskiljning det inledande mätåret (drygt 6000 kg/ha/år). Efter det har den absoluta avskiljningen varit i genomsnitt ca 1500 kg/ha/år vilket motsvarar en relativ avskiljning på ca 3 %. Den höga absoluta avskiljningen av kväve är en konsekvens av en hög belastningen på dammen - ca 50 ton/ha/år - vilket är högt även för skånska förhållanden. Den höga kvävebelastningen beror både på en hög kvävehalt i vattendraget (den flödesviktade medelhalten är 8,8 mg/l) och att dammen har en mycket hög hydrologisk belastning (liten dammyta i förhållande till avrinningsområdets storlek).



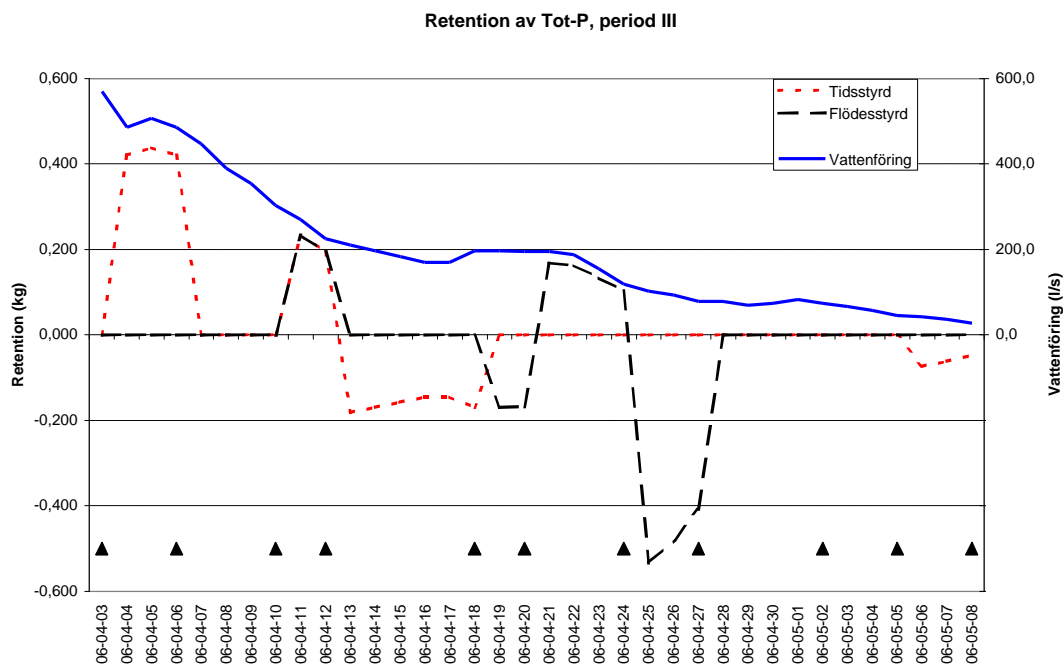
Figur 11. Avskiljning av totalkväve samt medelvattenföring i dammen i Slogstorp okt 1997-feb 2005. Avskiljningen är uttryckt som kg/månad och ha dammyta.

4.2.2 Fosfor

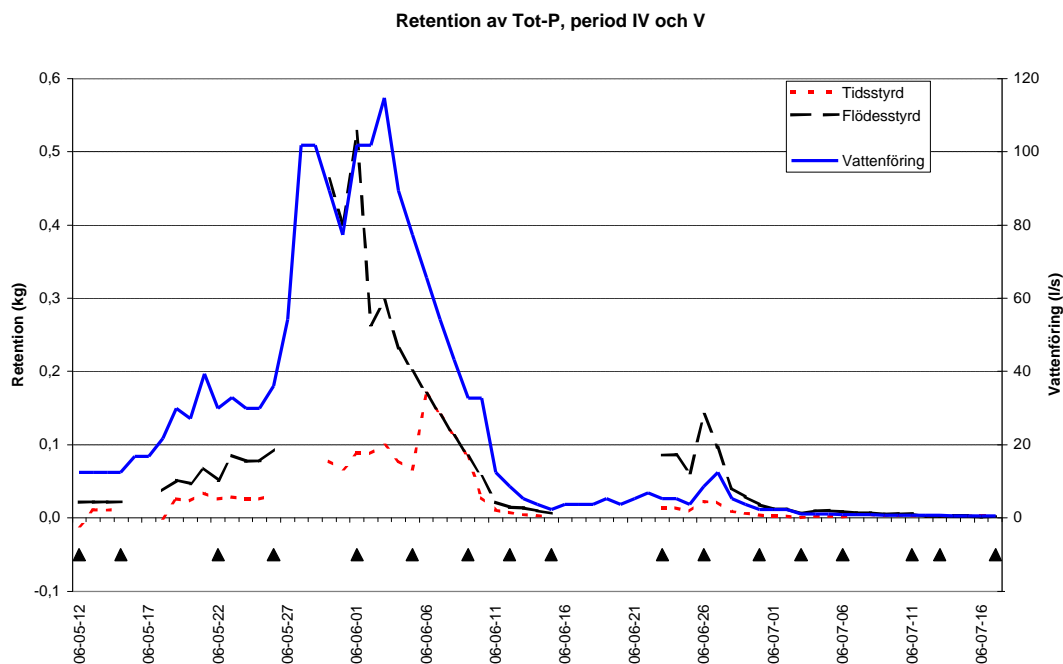
För fosfor är skillnaden mellan de båda provtagningsmetoderna tydlig. De beräknade transporterade mängderna in och ut är genomgående betydligt lägre för den tidsproportionella metoden än för den flödesproportionella. Detta gäller alla fem perioderna och den tidsproportionella metoden har totalt sett en transporterade mängd som är 50 % lägre i inloppet och 30% lägre i utloppet än den flödesproportionella metoden. De uppmätta skillnaderna kan, som diskuterats ovan, till viss del bero på att proverna inte är helt representativa. Men det råder ingen tvekan om att det även finns reella skillnader mellan metoderna.



Figur 12. Avskiljning av totalfosfor i dammen i Slogstorp under provtagningsperiod I (t.o.m. 21 nov) och II (fr.o.m. 2 dec). Jämförelse av resultat mellan tidsproportionell och flödesproportionell provtagning. Pilar anger provhämtningsdagar.



Figur 13. Avskiljning av totalfosfor i dammen i Slogstorp under provtagningsperiod III. Jämförelse av resultat mellan tidsproportionell och flödesproportionell provtagning. Pilar anger provhämtningsdagar.



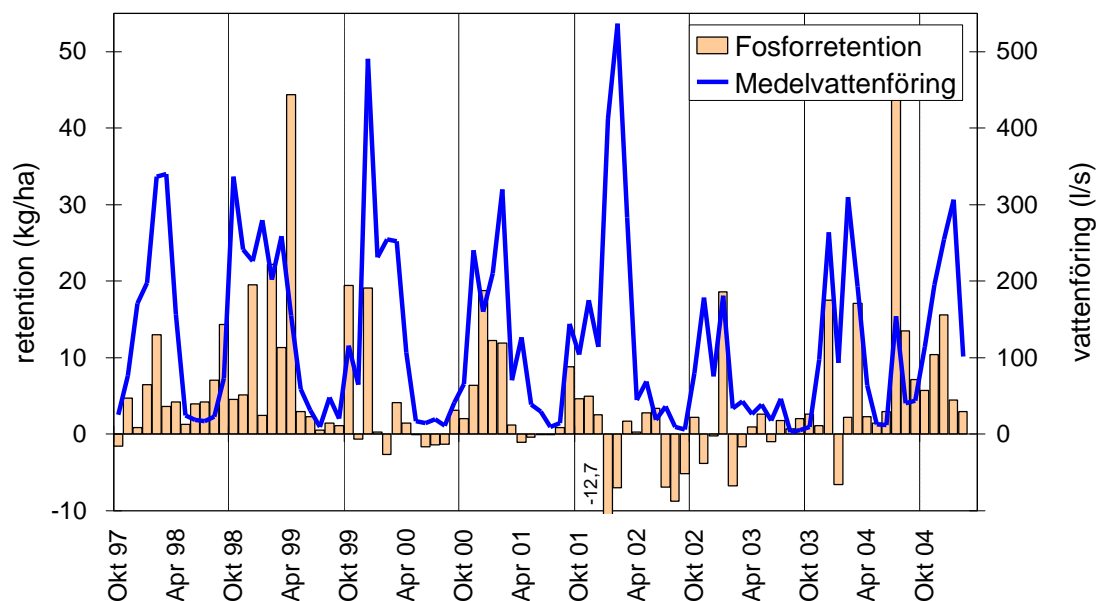
Figur 14. Avskiljning av totalfosfor i dammen i Slogstorp under provtagningsperiod IV (t.o.m. 15 juni) och V (fr.o.m. 23 juni). Jämförelse av resultat mellan tidsproportionell och flödesproportionell provtagning. Pilar anger provhämtningsdagar.

Även vad gäller avskiljningen ger den flödesproportionella metoden högre beräknade mängder än den tidsproportionella. Detta gäller samtliga perioder utom en (period III).

För den flödesproportionella metoden är den totala avskiljningen beräknad till 27 kg (32 %) och för den tidsproportionella 4 kg (9 %). Dock är den totala flödesproportionella avskiljningen tungt påverkad av ett prov under en höglödestopp i period I. Räknas period I bort blir skillnaderna inte lika stora, men fortfarande är den absoluta retentionen dubbelt så stor för flödesproportionell som för tidsproportionell provtagning (4,7 kg, 10% respektive 2,3 kg, 6,5%). Med undantag för period III kan man ana en generell underskattning av fosforavskiljningen för den tidsproportionella metoden i jämförelse med den flödesproportionella.

Långtidsavskiljningen av fosfor i Slogstorp (7,5 år, se bilaga 4) är ca 50 kg P/ha/år, vilket motsvarar knappt 15 % relativ avskiljning. Dammen har en mycket hög fosforbelastning med ett medel på knappt 400 kg /ha/år, motsvarande en medelhalt på ca 70 µg/l. Den årliga avskiljningen av fosfor har varierat kraftigt. Från att ha varit relativt stabil på 10-20 % de inledande 4 åren, sjönk avskiljningen drastiskt, och var till och med negativ (nettoutflöde av fosfor) under något år. Efter en restaurering av dammen som innefattade både rensning, utvidgning och viss fördjupning, har man kunnat se en tydlig förbättring av fosforavskiljningen som det sista mätåret var hela 105 kg/ha (30 % relativ avskiljning).

Slogstorp - fosfor

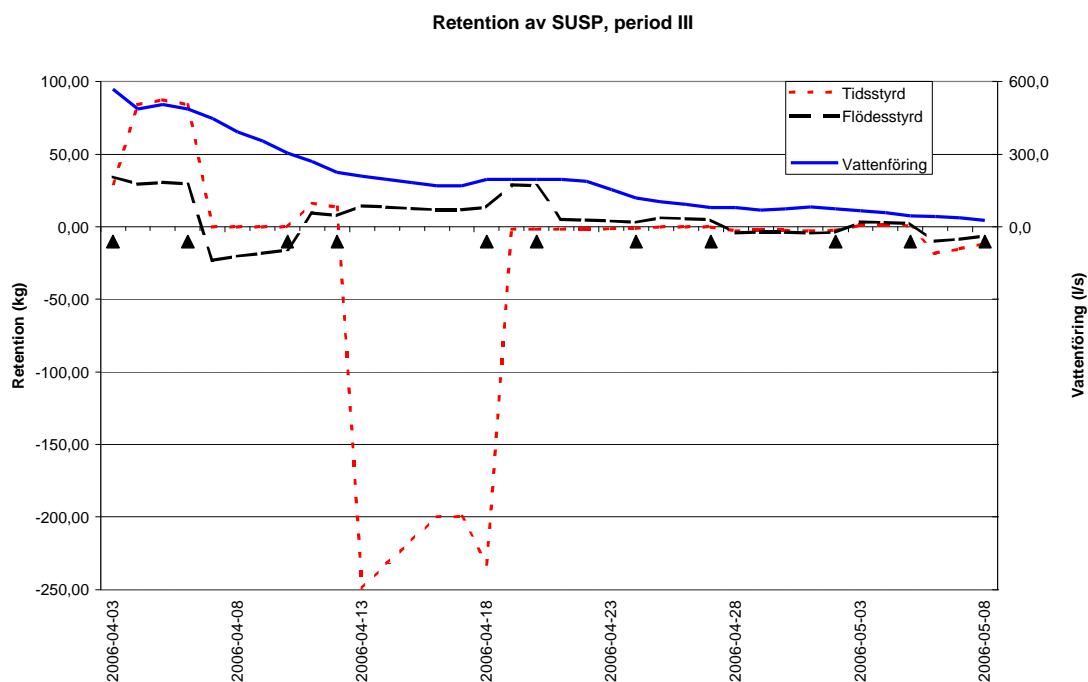


Figur 15. Avskiljning av totalfosfor samt medelvattenföring i dammen i Slogstorp 1997-2004. Avskiljningen är uttryckt som kg/månad och ha våtmark.

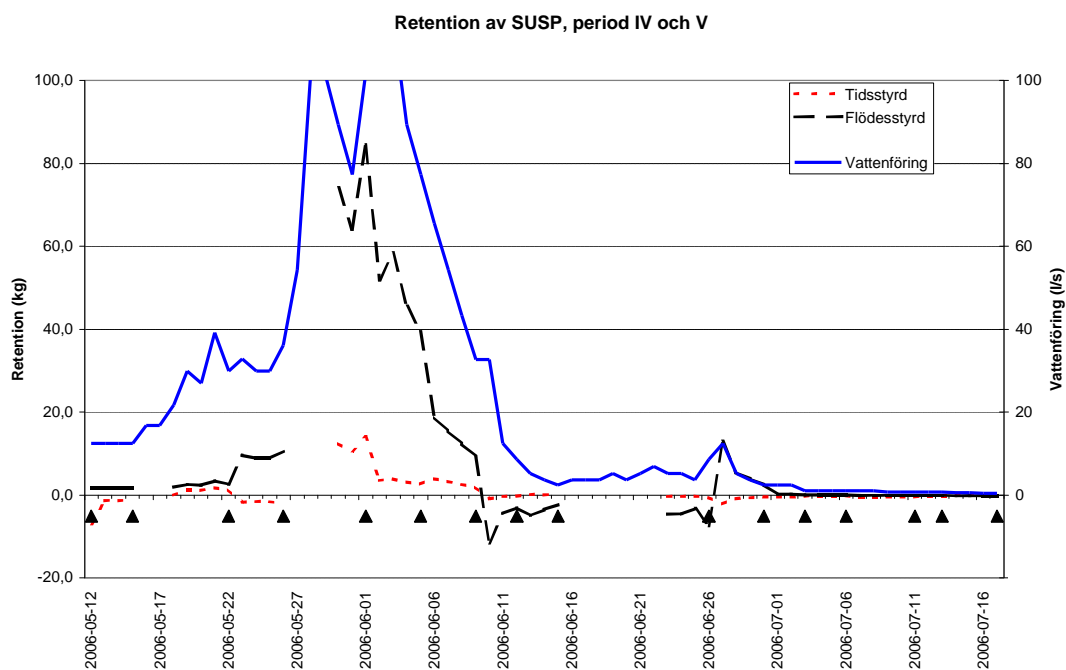
4.2.3 Suspenderat material

Den största skillnaden mellan de beräknade resultaten från de båda provtagningsmetoderna finner man för suspenderat material (SUSP). Även då period I räknas bort är den totala transporterade mängden in i dammen mer än dubbelt så stor för den flödesproportionella provtagningen som för den tidsproportionella, knappt 3 200 kg jämfört med drygt 1 300 kg. Den beräknade avskiljningen ger totalt olika resultat. För den flödesproportionella metoden blir den totala avskiljningen (period II-V) drygt 1000 kg, medan den för den tidsproportionella metoden blir drygt -1000 kg, d.v.s. ett lika stort nettoutflöde.

Bortsett från de förklaringar i skillnaden mellan metoderna som nämnts tidigare, tyder detta resultat på att såväl belastning som retention kan bli påtagligt underskattad då man använder sig av tidsproportionell provtagning. När det gäller SUSP (och viss mån även fosfor) kan det suspenderade materialets karaktär och haltvariation i den enskilda dammen spela stor roll för hur stor underskattningen blir med tidsstyrd provtagning. I de fall då man har en jämnare belastning och en dominans av finkornigt suspenderat material är det sannolikt att skillnaderna inte skulle bli lika stora mellan metoderna.



Figur 16. Avskiljning av suspenderat material i dammen i Slogstorp under provtagningsperiod III. Jämförelse av resultat mellan tidsproportionell och flödesproportionell provtagning. Pilar anger provhämtningsdagar.

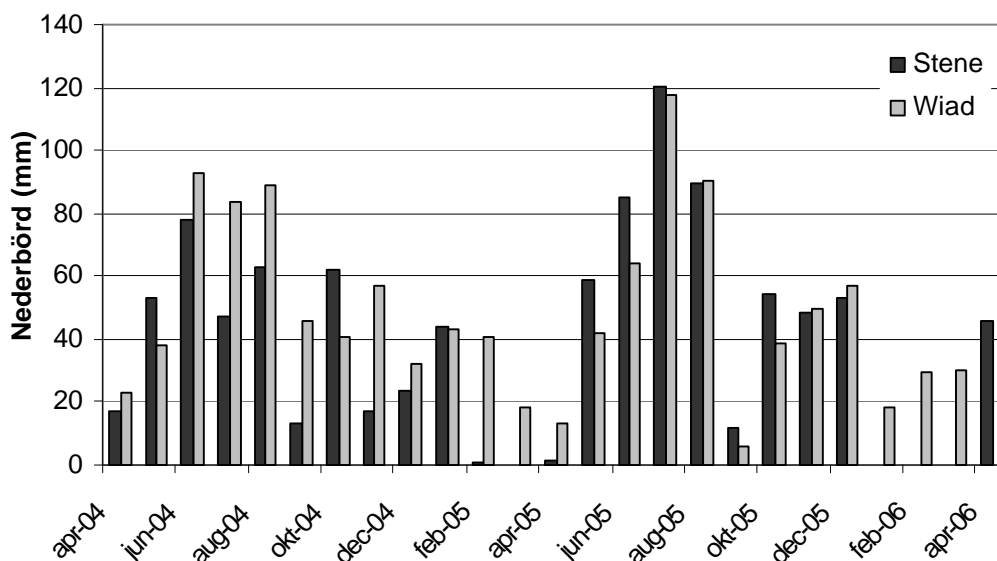


Figur 17. Avskiljning av suspenderat material i dammen i Slogstorp under provtagningsperiod IV (t.o.m. 15 juni) och V (fr.o.m. 23 juni). Jämförelse av resultat mellan tidsproportionell och flödesproportionell provtagning. Pilar anger provhämtningsdagar.

4.3 Södra Stene

4.3.1 Nederbörd och vattenföring

Nederbörden som registrerats i våtmarkens inloppsstation har jämförts med data från SMHI:s station Wiad, belägen drygt 2 mil nordost om Södra Stene. Då det bara var regn som registrerades i Stene stämde värdena bäst överens de snöfria månaderna, men det finns också variationer mellan de två lokalerna under övriga månader (Kynkänniemi 2006). figur 18 visar nederbörden från de två stationerna.

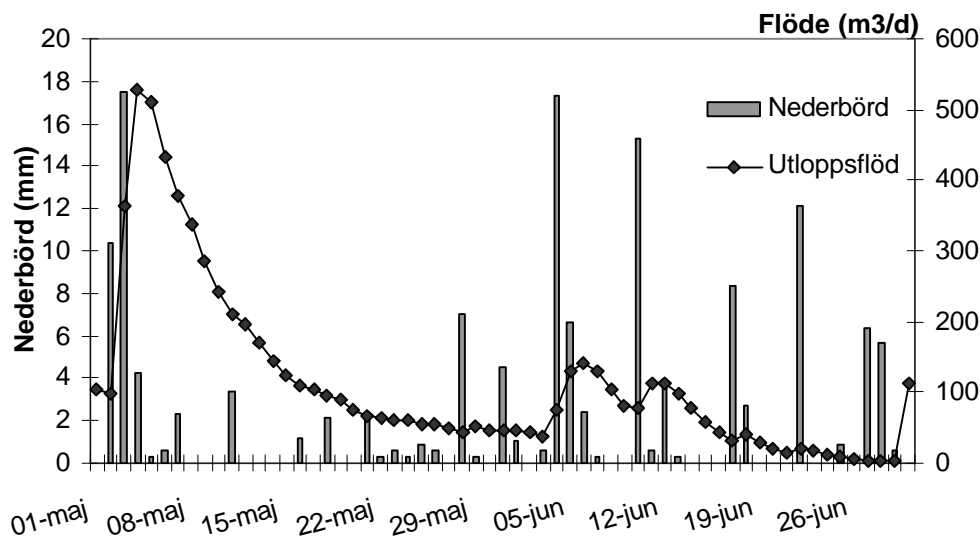


Figur 18. Nederbörden under april 2004 - april 2006 från mätstationerna i Södra Stene och Wiad.

Under det första året (april 2004-mars 2005) var nederbörden totalt 419 mm i Stene och 602 mm i Wiad, men data saknades tidvis från Stene under februari-mars. Andra året (april 2005-mars 2006) ökade nederbörden i Stene till 531 mm, medan den minskade i Wiad till 557 mm. Även andra året registrerades således mer nederbörd i Wiad än i Stene, där endast regn registrerades. Värdena stämmer bra med referensnormaler, som för stationen i Wiad var 547 mm för perioden 1961-1990 (Alexandersson m.fl. 2001).

Att flödet har en snabb respons på nederbörden kan ses i figur 19, där flödet ökade inom ett dygn efter större mängder regn. Detta har även varit tydligt i fält.

Under de två år som provtagning pågått har flödet varierat kraftigt i våtmarken. Flödet ökade markant under snösmältningen som ägde rum vid två tillfällen under båda provtagningsåren, i december och april. Flödet i utloppet översteg under dessa perioder 1 000 m³/dygn, att jämföra med medelflödet som första året var 172 m³/dygn och andra året 209 m³/dygn. Flödesdata saknas dock för några perioder, varför en direkt jämförelse inte kan göras. Det högsta uppmätta dygnsmedelflödet var 2 800 m³ som uppmättes den 31 mars 2006.



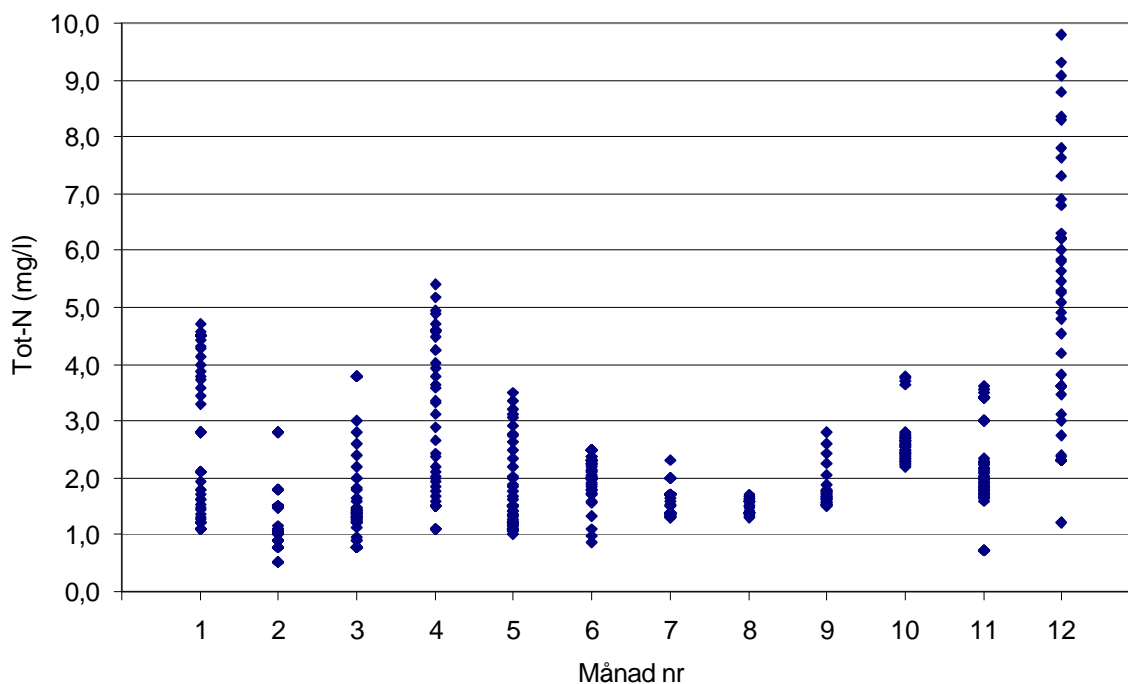
Figur 19. Utloppsflödets respons på nederbörden i våtmarken i Södra Stene, 1 maj-30 juni 2005.

Den beräknade avrinningen från det 98 ha stora området blir utifrån flödesdata 64 mm år ett och 78 mm år två, vilket är låga siffror för regionen. Avdunstningen uppgår i området i genomsnitt till 450 mm/år (Eriksson 1981) och med en medelnederbörd på 550 mm (Wiad 1961-1990) fås en årlig avrinning på 100 mm. En medelavrinning på 70 mm till våtmarken ger att grundvattenbildningen bör vara ca 30 mm, vilket är en rimlig siffra för området. Den låga årsavrinningen bör alltså kunna förklaras av att en stor del av avrinningen från högre liggande skogsmark infiltrerar i moränzonen mellan berg och lera och alltså aldrig når våtmarken.

4.3.2 Kväve

I Södra Stene var halterna av totalkväve i in- och utlopp låga jämfört med Slogstorp. Under större delen av året var koncentrationerna ca 2 mg/l, men i samband med snösmältning under vintern och våren steg koncentrationerna vid vissa tillfällen till 5-10 mg/l (fig. 20). Medelhalten (ej flödesviktad) för totalkväve var i inkommande vatten 2,4 mg/l det första provtagningsåret och 2,2 mg/l det andra. I utgående vatten var totalkvävehalterna i medel 2,8 respektive 2,1 mg/l. Halterna är 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.

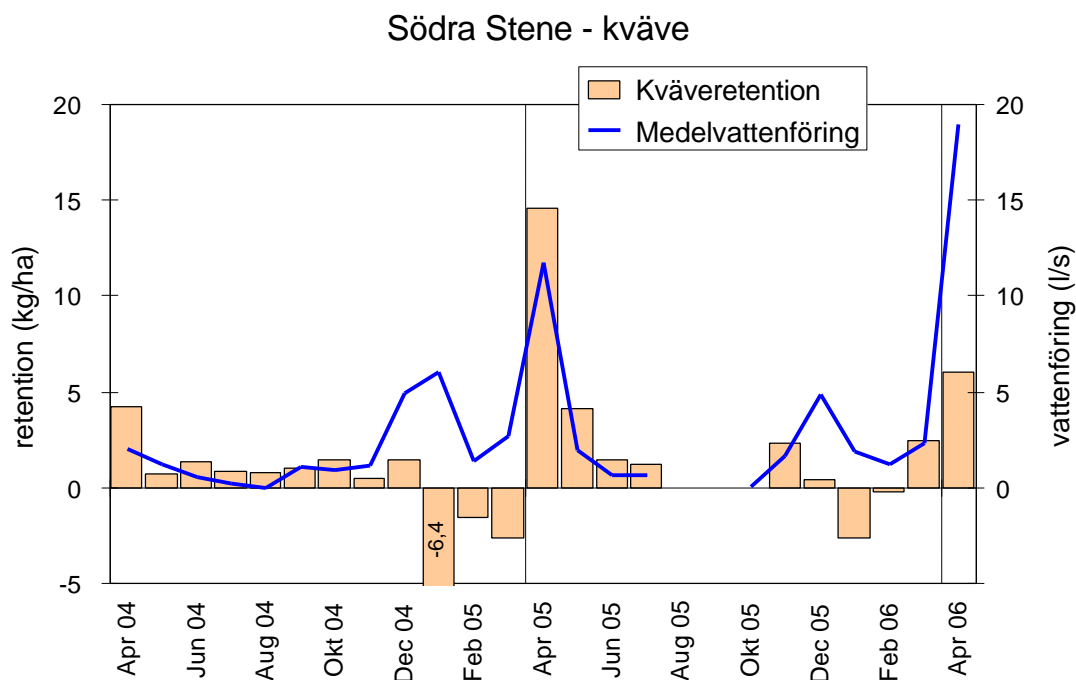
Variationerna i totalkvävehalt i inkommande vatten till våtmarken, följer det gängse mönstret för jordbruksdominerade avrinningsområden i regionen (Carlsson et al, 2004). Höga halter sammanfaller med höga flöden, framförallt under höst och vår. De högsta halterna har uppmätts i samband med tillfällig snösmältning i december, upp till 10 mg/l (fig. 20).



Figur 20. Flödesvägda halter av totalkväve i inkommande vatten i Södra Stene per månad. Data för perioden april 2004 – mars 2006.

Den avskiljda kvävemängden var, med hänsyn taget till hela avrinningsområdet samt bidrag från avlopp, under det först provtagningsåret (april 2004 – mars 2005) ca 2 kg/ha och år. År två (april 2005 – mars 2006) ökade avskiljningen markant till ca 25 kg/ha och år. Beräkningen för år två baseras på data för 9 månader, då tillförlitliga flödesdata saknas för perioden augusti - oktober. Om resultaten för de 9 månaderna räknas upp till ett helt år blir avskiljningen 32 kg/ha och år (25 kg/9 mån x 12 mån).

Belastningen på våtmarken var år ett 111 kg/ha våtmark och år två 124 kg/ha våtmark (165 kg/ha uppräknat till 12 månader). Den relativa avskiljningen var för år ett 2 % och för år två 19 %.

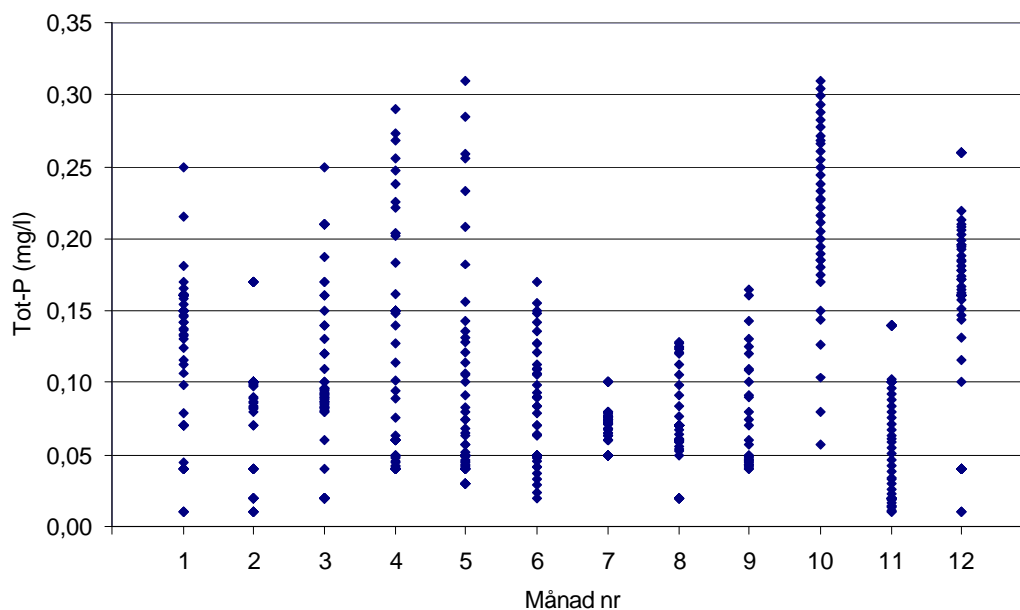


Figur 21. Avskiljning av totalkväve i Södra Stene under perioden april 2004 – april 2006. Avskiljningen är uttryckt som kg/månad och ha.

När en förskjutning av inloppshalten gjordes med en respektive två dagar bakåt i tiden, för justering för flödesfördröjningen genom våtmarken, sågs en viss skillnad i resultaten. Avskiljningen år ett hamnade med förskjutning i intervallet -1,7 till +0,2 kg/ha och år. År två, när avskiljningen var betydligt högre, blev skillnaden mellan ”beräkningsmetoderna” mindre. Ett dygns förskjutning resulterade i en avskiljning på 24,4 kg/ha och år och två dygns förskjutning gav en avskiljning på 23,5 kg/ha och år, alltså en skillnad på 1,9 - 5,4 % i förhållande till beräkning med oförskjuten inloppshalt.

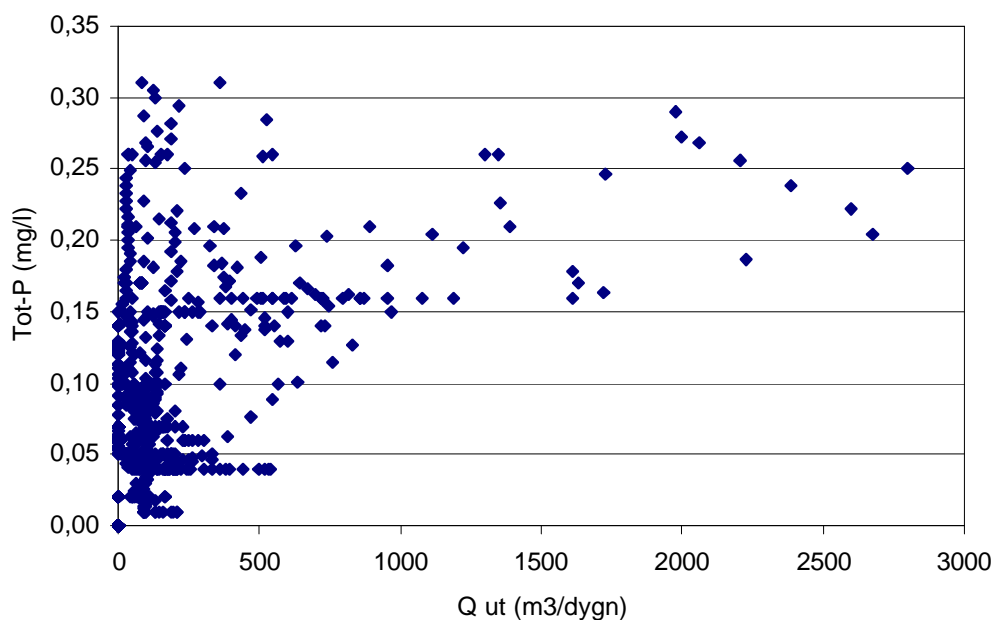
4.3.3 Fosfor

I Södra Stene var inkommande fosforhalten högst under perioder med höga flöden, höst och vår. 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. Spillvattnets påverkan syntes även på att inkommande fosforhalter i medel var lägre än utgående halter. Medelkoncentrationen av inkommande totalfosfor var under de båda provtagningsåren 99 µg/l (ej flödesviktad halt). Medelkoncentrationen i utgående vatten var ca 160 respektive 170 µg/l. Halterna är jämförbara med likande avrinningsområden i Mälardalsregionen (Carlsson *et al*, 2004).



Figur 22. Flödesvägda halter av totalfosfor i inkommande vatten i Södra Stene per månad. Data för perioden april 2004 – mars 2006.

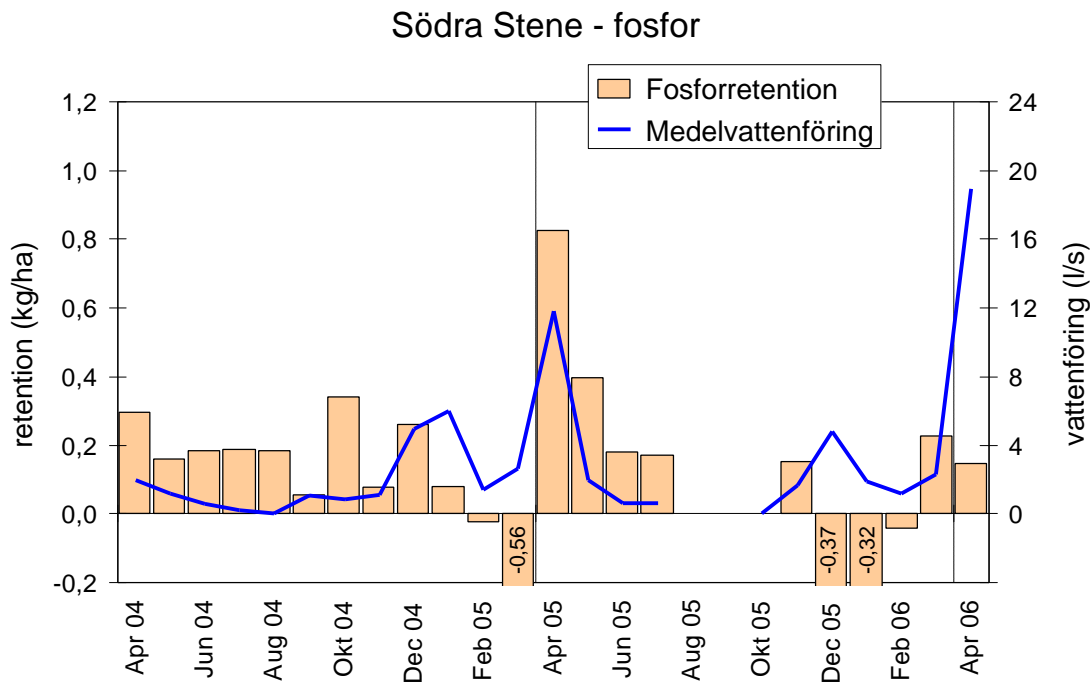
Vid en analys av flöden i relation till fosforhalterna i inloppet framträder ett tydligt mönster. Under perioder med flöden över 1000 m³/dygn har fosforhalten aldrig understigit 150 µg/l (fig. 23). Dessa högflöden har inträffat vid fyra tillfällen, i samband med snösmältning i december och mars/april under båda provtagningsåren. Höga halter har också förekommit under oktober 2004, en månad som var nederbördsrik i Södra Stene. För fosforförlusterna från avrinningsområdet i Södra Stene verkar alltså framförallt episodiska väderförhållanden spela stor roll.



Figur 23. Flödesvägda halter av totalfosfor i inkommande vatten i Södra Stene i förhållande till flödet genom våtmarken. Data för perioden april 2004 – mars 2006.

Den absoluta avskiljningen av fosfor (med hänsyn taget till hela avrinningsområdet samt bidrag från avlopp) var under det första provtagningsåret (april 2004-mars 2005) 1,3 kg/ha våtmarksyta. År två var avskiljningen 1,4 kg/ha. Om resultaten för de 9 månaderna år två räknas upp till ett helt år blir avskiljningen 1,6 kg/ha.

Fosforbelastningen på våtmarken var år ett 12,8 kg/ha våtmark och år två 15,5 kg/ha våtmark (20,7 kg/ha uppräknat till 12 månader). Den relativa avskiljningen var 21 % år ett och 17 % år två.



Figur 24. Avskiljning av totalfosfor i Södra Stene under perioden april 2004 – april 2006. Avskiljningen är uttryckt som kg/månad och ha.

Under den långa vintern 2005 uppstod kraftig syrebrist i våtmarken. Orsaken var sannolikt stora mängder avslaget växtmaterial i vattenmiljön, i kombination med låga flöden och lång isläggning. Syrebristen resulterade i förhöjda halter av fosfor i såväl in- som utlopp, vilket avspeglar sig i den negativa retentionen dec-jan andra provtagningsåret (fig. 24).

När förskjutning av inloppshalten gjordes med en respektive två dagar bakåt i tiden, syntes ingen större skillnad i resultaten. Avvikelsen i beräknad avskiljning var år ett som mest 0,2 kg/ha och år två <0,1 kg/ha och år. Det motsvarar för de båda åren en avvikelse på 0,9 - 4,9 %.

5 Diskussion och slutsatser

5.1 Flödesproportionella prover eller tidsstyrd provtagning?

Av anledningar som diskuterats i tidigare kapitel (4.2; osäkerheten i resultat från period I) är de siffror som redovisas i detta avsnitt baserade på resultat från perioderna II-V. Jämförelsen av resultaten mellan flödesproportionell och tidsproportionell provtagning visar tydligt att den flödesstyrda provtagningen ger högre värden på både transport och avskiljning av partikulärt material och fosfor (tabell 3). Det gäller även för enskilda provtagningstillfällen, utom under april (period III) då resultaten av den flödesstyrda provtagningen pekade mot frisläppning av fosfor vid två tillfällen med relativt måttliga flöden (fig. 13). Ingen motsvarande ökning av halten suspenderat material noterades dock (fig. 16), vilket skulle kunna tyda på att ökningen av fosfor från inlopp till utlopp huvudsakligen utgjordes av fosfor bunden till mycket små partiklar eller löst fosfor.

Provtagningsmetodiken verkar ha störst betydelse för kvantifiering av transporten av partikulärt material, där belastningen uppskattades vara mer än dubbelt så hög om proverna togs flödesproportionellt (tabell 3). Fosforbelastningen var bara 40 % högre baserat på flödesstyrd provtagning och för kväve var skillnaden marginell. Ett sådant förhållande är inte förvånande eftersom det ofta sker snabba förändringar i halterna av partiklar vid flödesförändringar. En flödesproportionell provtagning borde då vara bättre för att kvantifiera transporten i vattendraget, dvs. transporten in till våtmarken. De större partiklar som transporteras vid högre flöden sedimenterar lätt i våtmarker, och därför blir även den beräknade avskiljningen högre om man bättre lyckas kvantifiera denna transport. Braskerud (2002, 2003) visade att den relativa avskiljningen av både partiklar och total-P ökade vid högre hydraulisk belastning på små våtmarker i Norge. Våtmarkerna var alltså mer effektiva vid högre belastningar. Han förklarade det med att större aggregat transporterades vid högre flöden och att dessa lättare sedimenterar i våtmarkerna. Detta skulle även kunna bidra till att förklara varför skillnaderna mellan provtagningsmetoderna blir så stora i Slogstorp. Den tidsproportionella provtagaren missar en del av de snabba förändringarna i vattenkvalitet vid inloppet, och tar dessutom eventuellt ett mindre representativt prov på grund de faktorer som diskuteras under punkt 1, avsnitt 4.2. En viss överskattning av halterna kan ske i den flödesstyrda provtagaren (punkt 2, avsnitt 4.2.), men eftersom det momentet av provtagningen sker under en mycket kort tid (5-10 sekunder) är det förmodligen av underordnad betydelse i förhållande till vikten av att få vattenprover proportionella mot flödena.

Resultaten visar således att det är nödvändigt med en flödesstyrd provtagning för att på ett rimligt sätt kunna kvantifiera transporten av partikulärt material och därtill adsorberad fosfor. Det blir även av avgörande betydelse för försök att studera hur effektiva våtmarker är för att kvarhålla detta material. I fallet Slogstorp var skillnaden i avskiljningen av suspenderat material dramatisk, 10 kg/ha och dygn med flödesstyrd provtagning medan våtmarken såg ut att vara en källa till lika stor mängd suspenderat material om proverna togs tidsproportionellt. För fosfor blev avskiljningen dubbelt så hög med flödesproportionella prover.

Resultaten visar även att för kväve i löst form, huvudsakligen (88-90 %) nitrat i Slogstorp, är provtagningsmetodiken mindre betydelsefull. Belastningen för den studerade perioden var endast 1 % högre med flödesstyrd provtagning. För avskiljningen av kväve var skillnaden större med en 13 % lägre avskiljning när proverna tagits flödesstyrt. Det är inte sannolikt att

provtagarens tekniska utformning har någon större påverkan på dessa provers vattenkvalitet, utan detta är en skillnad som relativt väl representerar verkligheten. Hade jämförelsen pågått över en längre tid är det troligt att skillnaderna minskat eftersom skillnaden mellan metoderna inte var så systematisk som för fosfor och SUSP (figur 8-10). För kväve är ett problem ytterligare att skillnader i koncentrationer mellan inlopp och utlopp är mycket små under de perioder när stora mängder transporteras (ofta den kallare årstiden, vilket motsvarar den period som studerats). Därför bidrar osäkerheter i de kemiska analyserna till de redovisade skillnaderna mellan metoderna för att kvantifiera belastning och avskiljning.

Finns det nackdelar med flödesproportionell provtagning? De tidsproportionella provtagarna är, förutom att de har en lägre investeringskostnad, betydligt driftsäkrare och kräver avsevärt mindre underhåll än de flödesproportionella provtagare som användes i denna undersökning. Driftsäkerheten hos de flödesproportionella provtagarna nådde inte upp till våra krav, men hade säkert kunnat förbättras genom en större grundinvestering, innebärande framdragande av el och inbyggnad i tempererade skåp. Detta hade antagligen också bidragit till att underhållsbehovet minskat något. Vilken provtagningsmetodik som används bör naturligtvis vägas mot kostnader samt hur de yttre förhållandena, vattenföring och haltvariationer, i mätobjektet ser ut samt vilka parametrar som är av intresse för undersökningen.

5.2 Jämförelse mellan anläggningarna i Slogstorp och Södra Stene

Vid en jämförande granskning av data från de två våtmarkerna framträder vissa tydliga skillnader. Till stor del hänger de samman med att Stene våtmark utgör ca 2 % av avrinningsområdets storlek, medan Slogstorp är betydligt mindre, bara ca 0,1 % av avrinningsområdet. Alla skillnader förklaras dock inte av detta. Halterna av kväve i inflödet till Slogstorp var ungefär dubbelt så höga som i Stene (Bilaga 4 och 5). Den förra dränerar visserligen en större andel åkermark än Stene, men flera tidigare studier och övervakningsprogram visar att halterna av kväve, framförallt nitrat, är betydligt högre i avrinningen från åkermark i Skåne än i övriga svenska jordbruksområden. Enligt Ulén & Fölster (2005) har dock halterna minskat långsamt på senare år.

I Slogstorp innebär kombinationen av höga halter och en liten våtmark i förhållande till avrinningsområdets storlek (0,1 %) att belastningen av kväve är mycket hög. Detta förklarar huvuddelen av den höga avskiljningen eftersom den absoluta avskiljningen av kväve i våtmarker generellt ökar med en ökad belastning (Kadlec 2005). Om man jämför avskiljningen i Slogstorp med den i de amerikanska våtmarkerna som återges i Kadlec (2005) så är dock avskiljningen betydligt lägre i Slogstorp vid motsvarande belastning. Det förklaras av den höga hydrauliska belastningen. De flesta av våtmarkerna i Nordamerika mottar huvudsakligen en stabil, och lägre, hydraulisk belastning med avloppsvatten, och får därmed en större andel av belastningen under den varma årstiden då den biologiska avskiljningen är mer effektiv.

I fallet Stene förklaras den mycket låga kväveavskiljningen under första året av att belastningen är så låg som omkring 100 kg/ha och år och att våtmarken var påtagligt kanaliserad så att vattnet inte fördelades över de vegetationstäta områdena. Den kraftigt förbättrade avskiljningen under år två hänger sannolikt delvis samman med att vattnet då fördelades ut över vegetationsområdena och att nitrat då kunde denitrifieras. Förmodligen kommer avskiljningen att öka ytterligare en del när vegetationen blivit ännu mer etablerad och

äldre växtdelar bryts ner. Detta gynnar generellt denitrifikationen i och med att syrehalterna minskar i sedimenten. På grund av den låga belastningen kommer dock kväveavskiljningen i Stene att förbli låg i jämförelse med t.ex. skånska våtmarker, som generellt är mer högbelastade. Stene kan dock sägas representera många våtmarker som har etablerats i östra Svealand. En hel del av de våtmarker som anlagts i södra Sverige med äldre stödformer 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).

För fosfor var förhållandet det omvända, med mer än dubbelt så höga halter i Stene. Som framgår av figur 22 och 23 varierade fosforhalterna i det huvudsakliga inloppet väldigt mycket och ökade vid episoder av hög avrinning. Detta stämmer väl med Ulén och Fölsters rapport (2005) att halterna av total-P är något högre i avrinningen från Mälardalens jordbruksområden jämfört med i motsvarande skånska åar. I analysen av 20 års tidsserier lyfter författarna även fram betydelsen av enstaka tillfällen då mycket höga fosforförluster har uppmätts, och framhäver vikten av att sådana tillfällen provtas. Ulén (2003) visade också att halterna av fraktionen löst fosfor i avrinningen från plöjda lerjordar i Mälardalen ofta stiger rejält under snösmältningen, och att även dessa halter kraftigt kan öka under enstaka avrinningstillfällen (jämför t.ex. månad 10, oktober i figur 22). Detta styrker resonemanget ovan om att det för förståelse av fosfortransporter är extra viktigt med en flödesstyrd provtagning. Mot bakgrund av detta är det troligt att skillnaden i fosforhalterna mellan de två våtmarkerna i verkligheten var mindre än vad bilaga 4 och 5 ger sken av. Halterna i Slogstorp är förmodligen underskattade, och belastningen på denna våtmark högre än vad tabellen tyder på. Det skulle i sin tur betyda att avskiljningen var ytterligare högre än de 53 kg/ha och år som anges i bilaga 4.

Den höga avskiljningen i Slogstorp antas framför allt hänga samman med sedimentation av partikulärt fosfor. Vid en analys av hela tidserien av data över fosforhalter i utloppet från Slogstorp framgick det att höga halter observerades vid låga flöden, och ofta hängde samman med höga halter i inkommande vatten under lågflödesperioder (Tonderski et al, 2005). Det indikerar att någon form av avloppsutsläpp har en påtaglig betydelse för vattenkvaliteten även i detta område. Den stora avskiljningen av fosfor sker dock under perioder med höga flöden, och utgörs då förmodligen av sedimenterad partikulär fosfor. Det styrks även av att avskiljningen ökade kraftigt igen efter en rensning av dammen under 2003.

I Stene är den totala belastningen på våtmarken låg trots de relativt höga halterna. Man kunde kanske förvänta sig att en ännu större andel fosfor skulle kvarhållas. Vid en jämförelse med en sammanställning av data från 18 andra våtmarker (Braskerud et al. 2005) framgår dock att data från Södra Stene passar in i ett mönster. Av de lågbelastade våtmarkerna i Braskerud et al. studie, dvs. de vars area utgjorde > 1% av avrinningsområdets storlek, hade våtmarkerna med hög andel reaktivt fosfat i inloppsvattnet ca 20 % avskiljning av total-P (4-11 kg/ha och år), medan de med liten andel hade betydligt högre både relativ och absolut avskiljning. Även om bra data på fosforfraktioner saknas från Stene, kan vi anta att en relativt stor andel av belastningen utgörs av löst fosfat. Dels mot bakgrund av andra observationer från jordbruksmark i denna region (Ulén, 2003, Ulén & Fölster, 2005) och dels eftersom ca 24 % av den belastningen utgörs av enskilda avlopp som dränerar direkt till våtmarken. En mer detaljerad studie av vilka faktorer som styr fosforavskiljningen i dessa två, och andra, våtmarker vore dock önskvärd.

6 Tack

Ett varmt tack vill vi rikta till i första hand Per-Richard Bernström, brukare av gården Södra Stene, och John Persson, Slogstorp. Utan dessa två våtmarksentusiaster hade det praktiska uppföljningsarbetet inte varit möjligt och absolut inte lika angenämt. Tack också till Sören Eriksson på Hushållningssällskapet, projektledare för ”Våtmarker i odlingslandskapet - uppföljning av miljömålen” i vilket studierna ingått och Christer Södereng på länsstyrelsen i Stockholm som lagt stort engagemang på att lokalisera en lämplig, representativ våtmark att studera i Stockholms län.

7 Referenser

- Alexandersson, H. och Eggertsson Karlström, C. 2001. *Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961-1990. Referensnormaler - utgåva 2*. SMHI Meteorologi nr. 99, 2001.
- Braskerud, B. 2002. *Factors affecting phosphorus retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution*. Ecological Engineering 19: 41-61.
- Braskerud, B. C. 2003. *Clay particle retention in small constructed wetlands*. Water Research 37: 3793-3802.
- Braskerud B.C., Tonderski K.S., Wedding B., Blankenberg A.-G.B., Bakke R., Ulén B. och Koskiahio 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 växtnäring förluster för det agrohydrologiska året 2002/2003*. Ekohydrologi 80, Avdelningen för vattenvårdslära, SLU Uppsala.
- Ekologgruppen 2003 a. *Dammar som reningsverk. Mätningar av näringsämnesreduktionen i nyanlagda dammar 1993-2002*.
- Ekologgruppen 2003 b. *Biologi och vattenkemi i nya dammar. Undersökningar 2000-2002, slutrapport*.
- Eriksson, B. 1981. *Den ”potentiella” evapotranspirationen i Sverige*. SMHI RMK nr. 28.
- Jordbruksverket 2000. *Sektorsmål och åtgärdsprogram för reduktion av växtnäring förluster från jordbruket*. Rapport 2000:1.
- Jordbruksverket 2004. *Kvalitetskriterier för våtmarker i odlingslandskapet – kriterier för rening av växtnäring med beaktande av biologisk mångfald och kulturmiljö*. Rapport 2004:2.
- 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*. Avdelningen för vattenvårdslära, SLU Uppsala, Seminarier och examensarbeten Nr. 50.

Kynkäänniemi, P. 2006. *Reningsfunktionen i en lågbelastad våtmark*. Avdelningen för vattenvårdslära, SLU Uppsala, Seminarier och examensarbeten (under tryckning).

Naturvårdsverket 2006. *Övergödningen av Sveriges kuster och hav. Naturvårdsverkets ställningstaganden med anledning av en internationell expertutvärdering av kväve/fosforproblematiken i våra omgivande hav*. Rapport 5587.

Svensson J.M., Strand J., Sahlén G. och Weisner S. 2004. *Utvärdering av våtmarker anlagda inom lokala investeringsprogram och med LBU-stöd avseende närsaltsretention och biologisk mångfald*. In, p. 65. Våtmarkscentrum, Halmstad Högskola, Halmstad.

Tonderski K.S., Arheimer B. & Pers B.C. (2005) Measured and modelled effect of constructed wetlands on phosphorus transport in South Sweden. *Ambio*, 34, 544-551.

Ulén B. 2002. *Concentrations and transport of different forms of phosphorus during snowmelt runoff from an illite clay soil*. Hydrological processes.

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.

Muntliga källor

Christer Södereng, Länsstyrelsen i Stockholms län 2006-09-22.

Bilaga 1 – Provtagare i Slogstorp

Provtagare för tidsproportionell provtagning



Den tidsproportionella provtagaren (ovan) är av enkel konstruktion och lätt att underhålla. Pumpen är av fabrikatet Watson-Marlow (FD/R) och drivs med ett 12V MC-batteri (ca 12Ah). Pumphastigheten (4 rpm) är ej reglerbar, men kan variera ca $\pm 20\%$ beroende på batteriets spänning. Provvolymer per tidsenhet kan dock varieras genom att använda pumpslang av olika dimension. För vårt syfte har det visat sig lämpligt att använda en silikonslang med 1,6 mm innerdiameter i pumphuset, då det ger en hanterlig provmängd under tidsintervallen mellan tömning. Driftstörningar orsakas främst genom att slangarna sätter igen. Som transportslang (slangen mellan uttagpunkten och pumpen) användes därför en silikonslang med 3 mm innerdiameter. Denna slang sätter inte igen lika lätt och är dessutom lättare att rengöra. Även med ordentligt underhåll är slangarna känsliga. Hål på slangarna kan vara ett problem periodvis, och orsakas troligtvis oftast av smågnagare. Vintertid fryser det ganska snabbt till is i slangarna då temperaturen når under noll grader.



Den mekaniska pegel som använts för registrering av vattennivån vid utloppet är av fabrikatet OTT. Registreringen av nivån har skett med en utväxling 1:5. Vid normal dämning i utloppet är nivåvariationen mellan min- och maxflöde ca 50 cm. Pegeln är inbyggd i en låda (till höger om utloppet på vänstra bilden). Flottör och motvikt skyddas i ett plaströr.

Provtagare för flödesproportionell provtagning



Provtagaruppställning vid inloppet till Slogstorpsdammen. Tryckgivaren är monterad på en träregel som är nedslagen i bäckens botten ett par meter uppströms inloppsdammet. Ett par meter uppströms tryckgivaren ligger provslangen som mynnar ca 5 cm under vattenytan vid lågflöde. Ytterligare ett par meter uppströms har provslangen till den tidsstyrda provtagaren sitt intag.

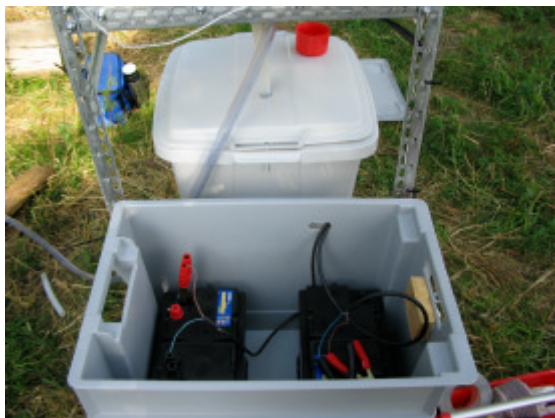


Samtliga instrument till den flödesstyrda provtagaren finns monterade i en och samma plastlåda. Provtagaren (uppe till höger på högra bilden) är en PSW 2000 (från Hach Lange). Den drivs här med 12 V likspänning (fritidsbatteri, 75 Ah), men kan utan modifiering även drivas med 230 V växelspänning. Under provtagaren sitter flödesmätaren som är en PU 2001 (från Hach Lange). Flödesmätaren drivs med 24 V likspänning. Av praktiska skäl, 24 V batterier är både dyra och svårhanterliga, byggdes en DC-DC omvandlare för att kunna använda samma typ av batteri till såväl provtagare som flödesmätare. Spänningsomvandlaren (grå box till höger i provtagarlådan) är ett "hemmabygge" med komponenter från ELFA (SD-25A-24). Här vid inloppet får flödesmätaren signal från en tryckgivare, 3102. Flödesmätaren har programmerats med en "fri" kurva med ca 10 punkter. Flödet har loggats var tionde minut i en datalogger av typen Tinytag Plus, mA (INTAB, lilla gula boxen). Provtagaren har styrts via puls från flödesmätaren. Pulsen ges då en viss vattenvolym har passerat flödesmätaren. Normalt har den varit inställd för att ge en puls ca 2 ggr per timme vid rådande basflöde. Då provtagaren får en puls från flödesmätaren sluts en ventil vid utloppsslangen i botten på provkoppen. En vacuum pump styr sedan provtagningen som startar med en utblåsningsssekvens (renblåsning av provslangen), vilket följs av en sug-sekvens tills provkoppen är full och en nivåvakt slår av pumpen. Överskottet i provkoppen rinner tillbaka genom provslangen tills önskad provvolym återstår och ventilen till utloppsslangen öppnas. Sekvensen avslutas med en renblåsning av slangen. Provvolymer kan varieras (30-350 ml) genom att placera ett plaströr i provkoppen vilket fungerar som en "utloppströskel" från koppen tillbaka genom provslangen. I vårt fall har vi inte använt plaströret och på så sätt fått den minimala provvolymen vilken är ca 30 ml.



Ultraljudsgivaren mäter nivån till vattenytan. Bakom givaren syns plaströret som skyddar flöte och motvikt till den mekaniska pegeln.

Provtagaruppställningen vid utloppet i Slogstorpsdammen skiljer sig från inloppet endast genom att vi här använde en ultraljudsgivare, U2000, som nivåmätare. Till höger om den flödesproportionella provtagaren syns lådan i vilken den mekaniska pegeln är monterad. Den tidsproportionella provtagaren finns i den gröna lådan som skymtar bakom den flödesproportionella provtagaren.



Batterierna är placerade i en separat låda för enkelt byte. De batterier som användes (75 Ah fritidsbatterier som är avsedda för att klara djupurladdningar) räckte normalt knappt en vecka, varför en "besöksfrekvens" på två gånger per vecka var nödvändig i detta fall. En besöksfrekvens på en gång per vecka hade troligtvis gått att klara genom att använda batterier med högre kapacitet. Provet samlades i en 25 l dunk som stod i en skyddande plasttunna.

Bilaga 2 – Provtagare i Södra Stene

Den utrustning som valts för flödesmätning och provtagning i Södra Stene är 2 st. ”portabla” vattenprovtagare med inbyggd flödesmätare och datalogger, modell SIGMA 900 MAX. Provtagarna var ursprungligen försedda med provfördelningsutrustning för att kunna fördela vattenprover i 24 st. 575 ml plastflaskor. Senare ersattes dessa av 1 st. 11 liters plastdunk i varje provtagare för att underlätt provtömning.

Båda provtagarna är placerade i isolerade lådor av vattentålig plyfa, vilka byggdes för ändamålet. Lådorna är försedda med frostvakter, som motverkar frysning vintertid. Även provtagnings slangarna (som suger in vatten från våtmarken) är isolerade med rörisolering av polyetenskum och tillsammans med isoleringen ligger en värmekabel med en effekt av ca 10 W/m. Värmesystemet har endast använts under vintermånaderna. Provtagarna drivs på nätspänning, 220 V. El drogs fram till utloppet i samband med att våtmarken anlades. För inloppsprovtagarens strömförsörjning lades en ca 200 m lång elkabeln på botten av våtmarken, från utloppet till inloppet.



Provtagningsuppställning vid inloppet till våtmarken i Södra Stene. Provtagningsutrustningen är placerad i en isolerad låda och i anslutning till lådan står nederbörds-mätaren. Till höger syns den kombinerade flödesmätaren/provtagaren. Vattenprov samlas i en flaska i provtagarens underdel.



Till provtagaren vid inloppet är en s.k. area/hastighetsgivare ansluten som är monterad i botten på inkommande betongtrumma (se foton nedan). Givaren är fäst på en rostfri metallring som sitter fastklämd i trumman. Givaren registrerar både vattennivån (med hjälp av en tryckgivare) och vattenhastighet (med hjälp av en ultraljudsmätare för mätning av flöde som bygger på dopplereffekten, där skillnaden mellan ljudvågans utsända resp. reflekterade frekvens är proportionell mot strömningshastigheten). Genom att multiplicera hastigheten med rörets area fås flödet. Till provtagaren vid inloppet anslöts också en kombinerad pH- och vattentemperaturmätare samt en nederbörds-mätare (SIGMA 980 Flow Meter Tipping Bucket). All insamlad data lagras med 5 minuters intervall i den inbyggda dataloggern.



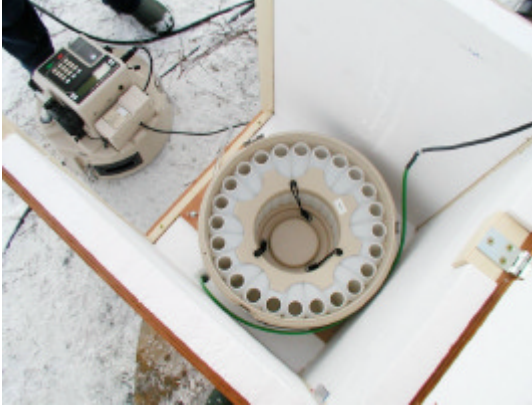
Ovan ses inkommande betongledning till våtmarken. Normalt är denna helt överdämd (vid fototillfället var våtmarken nedsänkt för slätter). Temperatur- och pH-givare samt provtagningsslangen är placerade rakt framför rörmyningen (bilden till vänster). På botten av trumman syns area/hastighetsgivaren (den lilla svarta dosan på den högra bilden).

För flödesmätning vid utloppet placerades ett triangulärt skibord (60° vinkel) i den befintliga 1500 mm-brunnen. Brunnen tar in vatten från våtmarkens djupdel genom ett plaströr med dimensionen 500 mm. Till provtagaren anslöts en tryckgivare som mäter vattennivån direkt uppströms skibordet i brunnen. Genom att flödet vid en given nivå följer en bestämd ekvation, kan flödet beräknas.



Provtagaruppställning vid utloppet i Södra Stene. Den kombinerade flödesmätaren/ provtagaren är placerad i träbox på brunnslocket. I brunnen syns dämnet, av vattenbeständig plyfa, och det triangulära skibordet som är tillverkat av aluminium. På bilden syns också den isolerade provtagningsslangen och den sladd som går ner till tryckgivaren.

Provtagningen styrs av den inbyggda flödesmätaren. När en bestämd volym vatten passerat sugts ett prov upp med hjälp av en slangpump. Provtagarna har varit inställda så att varje provtagningssekvens inleds med en renblåsning av slangen (pumpen går baklänges). Därefter sköljs slangen en gång innan ett vattenprov tas.



På bilden har provtagaren vid utloppet monterats isär för att visa underdelen som innehåller provflaskorna (andra året ersatta av en stor plastflaska som rymmer 11 liter).. Överdelen med flödesmätare, styr dator, logger och slangpump syns till vänster.

Den flödesproportionella provtagningen i Södra Stene har långt ifrån varit problemfri. Problem som uppstått under provtagningsperioden har bl.a. varit:

- Behov av justering av utloppsdämmet nivå och utformning för att erhålla acceptabla nivåvariationer i våtmarken (sett ur brukningsperspektiv för angränsande mark), samt en fungerande flödesmätning.
- Problem med att få dämmet helt tätt: Vid varje förändring av dämmets utformning har hela dämmet först lyfts upp ur brunnen och sedan satts tillbaka på plats. Dämmet hålls fast mot u-balkarna i brunns sidor med vattentrycket och vid varje justering har det varit ett tidskrävande arbete att få tätt kring dämmet.
- Angrepp av sork på utrustningen: Isolerade och uppvärmda provtagnings slangar har vintertid lockat till sig sorkar som gnagt hål på slangar och ledningar.
- Slitage på utrustning och tekniska komplikationer: Utrustningen har varit i drift ca 18 000 timmar (april 2006) och det är därför naturligt med slitage. Byte av slangar till slangpumpar, inloppslangar, provfördelningsarmar, batterieliminators och säkringar har krävts vid flera tillfällen.
- Det har visat sig att det är svårt att få god noggrannhet vid små provvolym, så något större volym med lite glesare intervall har blivit lösningen.
- Osäkerhet i flödesmätningen vid inloppet vid låga flöden: Hastighetsgivaren klarar inte att registrera hastigheter understigande 0,02 m/s, vilket motsvarar flödet 11,5 m³/h.
- Strömavbrott p.g.a. stormen Gudrun m.fl. tillfällen: Vid strömavbrott har provtagarna stannat och har fått startas om. Årsommaren 2006 (efter den redovisade provtagningsperioden) slog blixten ner och förstörde delar av utrustningen.

De flesta problemen har varit av typen ”barnsjukdomar” och inträffade framförallt under det första driftåret. Detta innebar framförallt att mycket tid gått åt till tillsyn och intrimning av utrustningen. Under det senaste året har provtagningen fungerat bra, men i takt med att utrustningen blivit mer sliten har några driftavbrott uppstått p.g.a. av att provtagarna slutat fungera. Servicekostnaderna för utrustningen blir under åren sammantaget hög.

Bilaga 3 – Beräkning av flöde i in- och utlopp i Södra Stene

Inlopp

Sonden i botten av trumman i våtmarkens inlopp mäter flödet enligt area/hastighetsmetoden. Det fungerar så att sonden skickar ut en ljudimpuls mot strömningsriktningen och det reflekterande ljudet från partiklar fångas upp av sonden. Detta kallas dopplereffekten och med hjälp av frekvensförändringar bestämdes vattnets hastighet. Rörets area har beräknats med ekvation A,

$$A = r^2 \times p \quad (\text{A})$$

där radien, r är 22,6 cm. Provtagarens dator räknar fram flödet genom att multiplicera hastigheten (m/s) med rörets area (m²), ekvation B:

$$Q = A \times v \quad (\text{B})$$

Ekvation B har även använts vid omräkning av inflödet, under de perioder då endast vattenhastigheten, inte flöden registrerats av datorn.

Utlopp

Flödet över det 60° triangulära skibordet i utloppet beräknades enligt ISO 1438-1, där följande formel gällde för triangulära skibord:

$$Q = C_e \times \frac{8}{15} \times \tan \frac{a}{2} \times \sqrt{2g} \times h_e^{5/2} \quad (\text{C})$$

Q = flödet genom skibordet (m³/s)

a = skibordets vinkel (20-100°)

C_e = konstant

h_e = mäthöjd (m)

g = accelerationskonstant (9,8066 m/s²)

Konstanten C_e varierade beroende på vattennivån. I de fall manuella beräkningar av flödet har gjorts har ett C -värde på 0,59 använts, då detta är värdet som provtagarens dator använt inom det aktuella intervallet. Enligt Naturvårdsverkets allmänna råd för flödesmätning 90:2¹ (nu upphävda) ska C -värdet ligga mellan 0,57-0,59.

Nollnivån för tryckgivare vid våtmarkens in- respektive utlopp har också vägts in och det framgick då att mätaren i utloppet bör ange ett värde som var ca 0,76 m högre än det vid inloppet. Detta har utnyttjats för att beräkna flödet i utloppet, utifrån nivån vid inloppet och ekvation C, vid tillfällena då utflödesmätningen inte fungerat.

¹ SNV. 1990. Naturvårdsverkets Allmänna råd 90:2. Flödesmätning av avloppsvatten vid utsläppskontroll. Stockholm.

Bilaga 4 - Årssammanställning av mätdata från Slogstorp

Årssammanställning av mätdata från damm i Slogstorp

		Totalt	År 1	År 2	År 3	År 4	År 5	År 6	År 7	Senaste
		okt 97 - feb 05	okt 97- sep 98	okt 98- sep 99	okt 99- sep 00	okt 00- sep 01	okt 01- sep 02	okt 02- sep 03	okt 03- sep 04	mar 04 feb 05
Vattenföring:	10 ³ m ³	29 242	3 795	4 911	4 271	3 698	4 687	1 928	3 395	3 942
Medelvattenföring	l/s	125,0	120,3	155,7	135,0	117,3	148,6	61,1	107,6	125,0
Medelavrinning	l/s/ha	0,142	0,137	0,177	0,153	0,133	0,169	0,069	0,122	0,142
Kväve, total										
In	kg	255 893	41 453	38 313	36 930	35 265	35 999	14 840	29 063	34 292
Medelhalt	mg/l	8,8	10,9	7,8	8,6	9,5	7,7	7,7	8,6	8,7
Markläckage	kg/ha/år	39,2	47,1	43,5	42,0	40,1	40,9	16,9	33,0	39,0
* Belastning, damm	kg/ha/år	50 874	63 774	58 943	56 815	54 254	55 384	21 905	36 328	42 864
Retention, absolut	kg	10 624	4 141	1 543	804	1 213	730	545	1 404	1 282
* Retention, yteffektiv	kg/ha/år	2 132	6 370	2 374	1 237	1 866	1 123	791	1 755	1 602
Retention, relativ	%	4,2	10,0	4,0	2,2	3,4	2,0	3,7	4,8	3,7
Fosfor, total										
In	kg	1 998	231	422	262	227	289	140	268	279
Medelhalt	mg/l	0,07	0,06	0,09	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,07
Markläckage	kg/ha/år	0,31	0,26	0,48	0,30	0,26	0,33	0,16	0,31	0,32
* Belastning, damm	kg/ha/år	396	356	648	403	348	444	205	336	349
Retention, absolut	kg	274,3	40,4	76,5	25,9	39,4	-13,3	10,0	69,9	84,3
* Retention, yteffektiv	kg/ha/år	53,2	62,2	117,7	39,8	60,7	-20,5	15,6	87,4	105,4
Retention, relativ	%	13,7	17,5	18,2	9,9	17,4	-4,6	7,1	26,1	30,2
Suspenderad subst.										
In	kg	135 423	15 351	23 552	24 987	19 699	18 550	5 961	14 007	18 925
Medelhalt	mg/l	4,6	4,0	4,8	5,9	5,3	4,0	3,1	4,1	4,8
Markläckage	kg/ha/år	21	17	27	28	22	21	7	16	22
* Belastning, damm	kg/ha/år	26 972	23 617	36 234	38 441	30 307	28 538	8 815	17 509	23 656
Retention, absolut	kg	61 812	5 976	13 591	15 415	10 793	6 094	-950	3 954	9 981
* Retention, yteffektiv	kg/ha/år	12 478	9 194	20 909	23 715	16 604	9 375	-836	4 942	12 477
Retention, relativ	%	46	39	58	62	55	33	-16	28	53

* Dammarel = 0,65 ha t.o.m. Jan 03, därefter 0,8 ha

Sammanställningen gäller endast tidsproportionell provtagning, och innefattar inte tiden för den jämförande undersökningen.

Bilaga 5 - Årssammanställning av mätdata från Södra Stene

		Totalt	År 1	År 2
		apr 04- mar 06	apr 04- mar 05	apr 05- mar 06
Vattenföring:	m ³	129 045	58 393	70 651
Medelvattenföring	l/s	2,0	1,9	2,2
Medelavrinning	l/s/ha	0,021	0,019	0,023
Kväve, total				
In	kg	580	233	347
Medelhalt	mg/l	4,5	4,0	4,9
Markläckage	kg/ha/år	3,0	2,4	3,6
* Belastning, damm	kg/ha/år	138	111	165
Retention, absolut	kg	70	4	66
* Retention, yteffektiv	kg/ha/år	17	2	32
Retention, relativ	%	12	2	19
Fosfor, total				
In	kg	33,4	12,8	20,7
Medelhalt	mg/l	0,3	0,2	0,3
Markläckage	kg/ha/år	0,2	0,1	0,2
* Belastning, damm	kg/ha/år	8,0	6,1	9,8
Retention, absolut	kg	6,1	2,6	3,4
* Retention, yteffektiv	kg/ha/år	1,4	1,3	1,6
Retention, relativ	%	18	21	17

* Våtmarksareal =2,1 ha

Obs! Tillkommande behandlat hushållspillvatten till våtmarken har inräknats i ovanstående.

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