

# Slutrapport

## Partikelfångande fosfordammar med och utan sedimenttömning

*Pia Geranmayeh, Magdalena Bierozza och Lars Bergström*

### Sammanfattning

Medel erhöles för att följa upp den förbättring i retention som förväntades efter sedimenttömningen av Nybble fosfordamm sensommaren 2016 och att använda Bergaholm fosfordamm som referens. Efter mätningarna 2017 har vattenkvalitetsmätningarna och sedimentprovtagningen varit igång under åtta år i Bergaholm respektive sex år i Nybble. Nybble fosfordamm avskiljer i genomsnitt årligen 5, 9 och 10 % fosfor (P), kväve (N) respektive suspenderat material (SS). Retentionen av total P (TP) och fosfat (DP) 2017, var precis som första året efter anläggningen, negativ (-1 % och -3 %). Årsretentionen 2017 påverkades mycket av högre utflöde (grundvatten tillflöde) än inflöde i september 2017 som i kombination med liknande in- och utflödande koncentrationer resulterade i stor utflödande mängd näring, med undantag för SS och nitrat (NO<sub>3</sub>). Även kolavskiljningen, som dessförinnan varit positiv, var negativ (-4%) 2017. Efter urgrävningen under lågflöde hösten 2016 ökade utflödande näringshalter, men utflödande SS och P var endast förhöjda det första provtagningstillfället i slutet på oktober, medan C och N förblev förhöjda under sex provtagningar tom januari 2017. Det blir mycket viktigt att följa utvecklingen för denna fosfordamm framöver, dels under år med högre flöden och dels för att se om den lika effektivt som Bergaholm kan avskilja både kväve och fosfor. Om inte beror det på för hög hydraulisk belastningen i Nybble eller har platspecifika faktorer större påverkan på dess reningskapacitet?

Bergaholmsdammen har under hela alla åtta år haft en god fosfor- och kvävereducerande effekt (medel 69 och 568 kg/ha,år motsvarande 40 respektive 46 %) som varierar med hänsyn till den hydrauliska belastningen under året och mellan år. Den ytspecifika avskiljningen (kg per ha våtmarksyta och år) av fosfor ökar med ökad hydraulisk belastning, medan den relativa retentionen (% av belastningen) verkar minska. Den låga hydrauliska belastningen 2017, innebar därmed en lägre fosforavskiljning på 49 kg/ha och år, men en högre relativ retention 49 % än medel. Antal provtagningstillfällen var dock lägre 2017 än normalt och uppskattningen av retentionen blir därför mer osäker. Efter alla år har så pass mycket sediment ansamlats vid inloppet att inloppsrören täppts igen och förhindrar vattnet att rinna till dammen. Sedimenttömning är därför nödvändig våren/sommaren 2018. Det är av stort intresse att fortsätta att följa denna fosfordamm för att undersöka sedimenttömnings påverkan på effekten, kommer kväveavskiljningen att bli negativ även i denna fosfordamm efter urgrävningen och kommer fosforretentionen sjunka till samma nivå som det första året efter anläggningen?

### Inledning

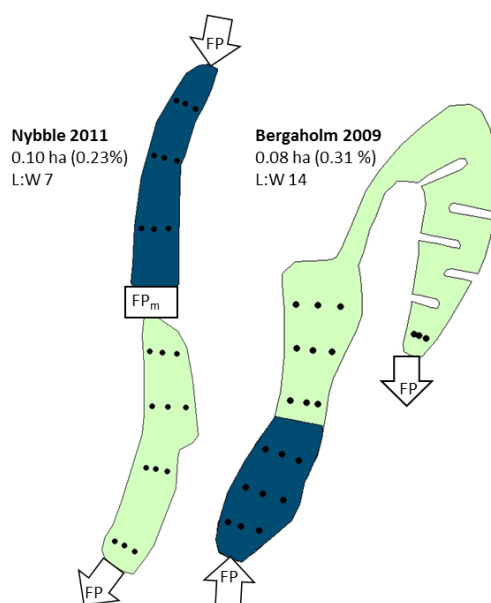
Sedan 2010 har det funnits stödformer för att anlägga specialutformade våtmarker för fosforretention, s.k. fosfordammar. I jordbruksområden med erosionskänsliga jordar (t.ex. lerjordar), är den mesta av fosfor som transporteras från fälten bundna till jordpartiklar (Ulén, 2004). Den viktigaste processen i våtmarker blir därför sedimentation av partikelbunden fosfor (PP) (Kynkäänniemi et al., 2014). Fosfordammarnas partikelfångande funktion varierar stort mellan olika dammar. Inom detta projekt har vi studerat den fortsatta utvecklingen av de två fosfordammarna Nybble och Bergaholm. Utvärderingen de första åren efter anläggningen av dessa har visat att den partikelfångande funktionen kan förändras i takt med tillgången till suspenderbara partiklar (SS) (Geranmayeh et al., 2017). Efter en tid ansamlas resuspenderbart sediment i dammarna. Förutom risken att partiklar förs ut ur dammen vid högflöde kan mera sediment också medföra att högväxta arter tar över annan form av vegetation. Avskiljningen av näringsämnen kan komma att minska genom mera kanaliserade flöden. I Nybble har denna vegetationsförändring påskyndats eftersom vattennivån varit onödigt låg i den första dammen och för att det funnits en stor fröbank. Under gynnsamma förhållanden sommaren 2016 (lågflöde och torrt väder) rensades därför Nybble våtmark och den övre dammen, liksom området vid nära utloppet, tömdes på löst sediment.

## Material och metoder

### Fosfordammarna Bergaholm och Nybble

Två strategiskt placerade och specialutformade fosfordammar har anlagts i mellansvenska lerjordsområden, den ena (2009) i Bornsjöområdet strax sydväst om Stockholm och den andra (2010-11) i Kiladalen i sydöstra Södermanland (figur 1). Området uppströms Bergaholmsdammen har ett jordbruksfält och ett stort antal rastfällor för hästar. Marken har ett ganska måttligt fosfortal (P-AL) på i medeltal 14 (mg 100 g jord<sup>-1</sup>), men många av rastfällorna är utpräglade 'hotspots' med betydligt högre fosforkoncentration i marken (upp till 58 mg jord<sup>-1</sup>). Området uppströms Nybbledammen utgörs av konventionellt och ekologiskt brukad jordbruksmark, betesmark och skog. Markens fosfortal är lägre (medel 7,5 mg P-AL jord<sup>-1</sup>) och varierar mindre (4-11 mg P-AL jord<sup>-1</sup>) jämfört med i Bergaholm. Båda fosfordammarna är högbelastade med fosfor (mer än 1 g m<sup>-2</sup> år<sup>-1</sup>).

Fosfordammarna består av en initial djupdel och en grunddel med vegetation (Kynkäenniemi 2014). Både Bergaholm och Nybble fosfordamm är små (0,31 och 0,23 %) i förhållande till de små tillrinningsområdena på 26 respektive 44 ha. Bergaholm våtmark konstruerades genom att öppna upp en mindre kulvert och leda vattnet i en slinga i nygrävd mark. Nybble våtmark utformades trappstegsformat i ett befintligt öppet dike. De är båda långa och smala för att underlätta att gräva bort ackumulerat sediment och för att vara hydrauliskt effektiva (Figur 1). Året efter konstruktionen grävdes och rensades ett närliggande öppet vägdike och Nybble fosfordamm fick ta emot extra mycket partiklar (Geranmayeh, 2017). Ansamlat löst sediment grävdes under lågflöde hösten 2016 ur Nybblefosfordamms djupdel samt vid vattenföringsmätningarna vid inlopp respektive utlopp.



**Figur 1.** Bergaholm och Nybble fosfordamm med en djupare inloppsdel (mörkblå) och en efterföljande grundvegetationsdel (ljusgrön). Flödesproportionell provtagning (FP) i inlopp och utlopp, samt mellan de båda delarna i Nybble. Plattor placerade i sju transekter som referensbotten för att demonstrera årlig sedimentation är markerade som svarta prickar. Bergaholm har dessutom en fungerande turbiditet och nitrat sensor i inloppet.

### Vatten och sedimentprovtagning

Retentionen av näringsämnen i fosfordammarna har följts genom flödesproportionell provtagning med samlingsprov tömda ungefär var 14:e dag och analys av dessa. Följande parametrar har analyserats: total P (TP), PP, fosfatfosfor (DP), SS, totalorganiskt kol (TOC), totalkväve (TN) och nitratkväve (NO<sub>3</sub>). In- och utflödande vatten till Bergaholmsdammen har också studerats med optiska sensorer som mätt turbiditet och nitrat och lagrat värdena varje timme. Sensorn i utloppet gick söder vintern 2015 och behöver ersättas. Ackumuleringen av sediment i båda fosfordammarna har mätts årligen med hjälp av sedimentplattor placerade i transekter på olika avstånd från inloppet (Figur 1). De har vittjats på material

omkring månadsskiftet augusti/september varje år och analyserats på TP. Totalt ackumulerat sediment och P har uppskattats genom interpolation av medelvärdena för transekterna med verktyg i GIS (Johannesson mfl 2014; Kynkäänniemi 2014).

## Resultat och diskussion

### Vattenprovtagning

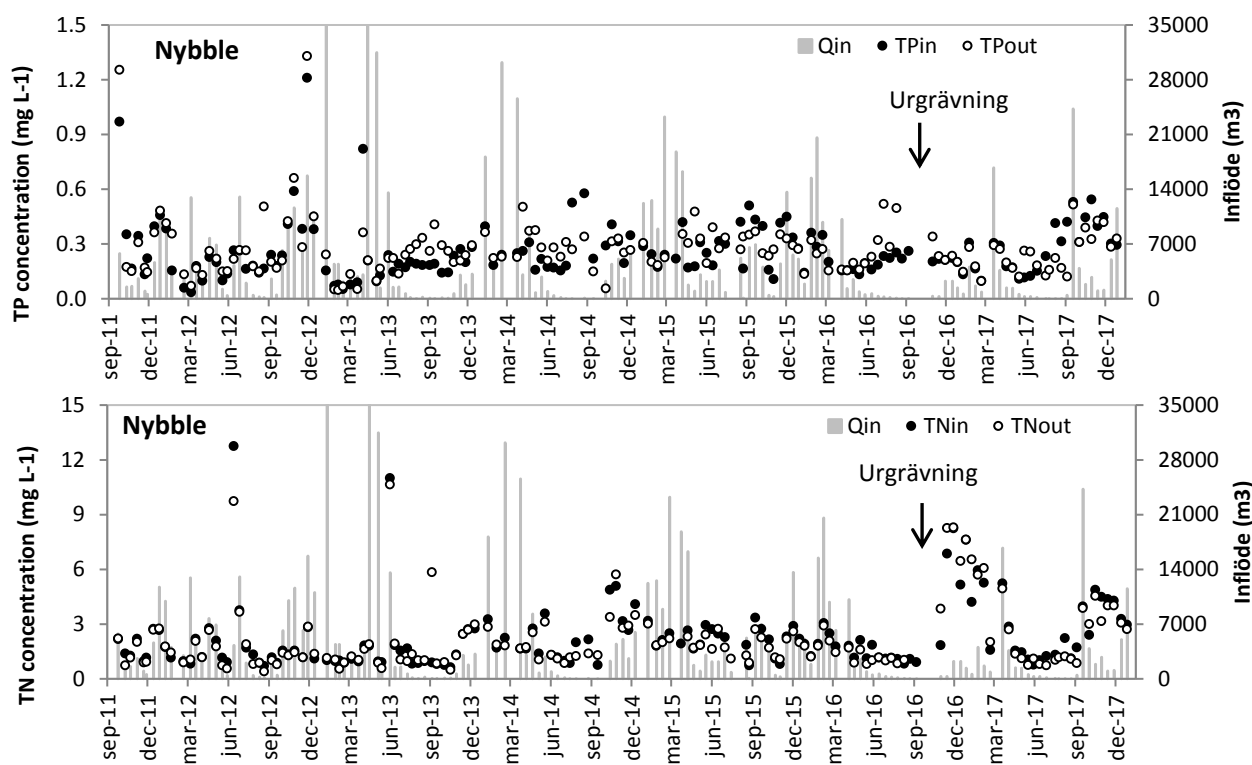
Avrinningen för kalenderåret 2017 var i likhet med 2016, det lägsta sedan mätningarna började. I Bergaholm var avrinningen 82 mm år<sup>-1</sup> jämfört med medelavrinningen för de åtta åren, 166 mm år<sup>-1</sup>. I Nybble var den 190 mm år<sup>-1</sup> jämfört med sexårsmedlet på 259 mm år<sup>-1</sup>. Den lägre hydrauliska belastningen till fosfordammarna de senaste åren resulterade i en lägre belastning av de flesta näringsämnen, förutom kväve och fosfat i Nybble, jämfört med medelbelastningen (tabell 1).

**Tabell 1.** Medelvärdet för årlig (kalenderår jan-dec) hydraulisk belastning (HL), belastning vid inlopp per våtmarksyta, inflödande och utflödande halter samt relativ retention (%) av suspenderat material (SS), totalfosfor (TP), partikulär fosfor (PP), löst reaktiv fosfor (DRP), total organiskt kol (TOC), totalkväve (TN) och nitratkväve (NO<sub>3</sub>N) för Bergaholm (2010-2017) och Nybble (2011-2017) fosfordamm.

	Bergaholm		Nybble	
	2010-2017	2017	2011-2017	2017
HL (m år <sup>-1</sup> )	54	27	112	82
SS <sub>in</sub> (t ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup> )	68	38	239	232
SS <sub>in</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	112	116	120	114
SS <sub>ut</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	73	68	106	81
Retention SS (%)	41	52	9	-1
TP <sub>in</sub> (kg ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup> )	175	100	432	387
TP <sub>in</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	0,30	0,30	0,25	0,28
TP <sub>ut</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	0,20	0,20	0,27	0,25
Retention TP (%)	40	49	5	-3
PP <sub>in</sub> (kg ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup> )	105	66	298	232
PP <sub>in</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	0,18	0,19	0,16	0,18
PP <sub>ut</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	0,12	0,11	0,19	0,16
Retention PP (%)	44	54	3	1
DRP <sub>in</sub> (kg ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup> )	60	30	102	114
DRP <sub>in</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	0,11	0,10	0,08	0,09
DRP <sub>ut</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	0,07	0,08	0,06	0,07
Retention DRP (%)	33	43	10	15
TOC <sub>in</sub> (t ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup> )	5	4	26	24
TOC <sub>in</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	9,3	11,1	14,5	16,8
TOC <sub>ut</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	8,6	10,0	15,4	17,9
Retention TOC (%)	31	27	6	-4
TN <sub>in</sub> (kg ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup> )	1245	418	3743	4087
TN <sub>in</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	1,9	1,5	2,3	2,9
TN <sub>ut</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	1,3	1,1	2,2	2,7
Retention TN (%)	46	40	10	0
NO <sub>3</sub> N <sub>in</sub> (kg ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup> )	766	179	2316	2397
NO <sub>3</sub> N <sub>in</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	1,3	0,7	1,5	1,9
NO <sub>3</sub> N <sub>ut</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	0,9	0,4	1,3	1,5
Retention NO <sub>3</sub> N (%)	34	54	13	6

### Nybble

Inflödande näringshalter var ungefär detsamma som medel i båda dammarna (Tabell 1). År 2017 fortsätter Nybble fosfordamm att fånga SS (15 %) och PP (1 %), medan dammen släppte ut mer TP och DP (-1 respektive -3 %) än vad som flödade in. Detta var dock lägre än första året efter anläggningen (-13 och -4 %). Årsretentionen 2017 påverkades mycket av höglödet i september 2017. Det var liten skillnad i in- och utflödande koncentrationer och utflödet var högre än inflödet, pga grundvatten som tillkom nära utloppet. Detta resulterade i en större utflödande mängd näring (negativ retention), med undantag för SS och  $\text{NO}_3$ . Kväveavskiljningen 2017 var den lägsta sedan mätningarna började, då endast  $6 \text{ kg TN ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ , avskiljdes motsvarande 0,2 %. Nybble fosfordamm har alla år avskiljt kol, men 2017 var dammen en kolkälla (-4 %). Efter urgrävningen under lågflöde hösten 2016 ökade utflödande näringshalter, men utflödande SS och P var endast förhöjda det första provtagningstillfället i slutet på oktobret, medan C och N förblev förhöjda under sex provtagningar tom januari 2017. Ändrade förhållanden i sedimenten (syresatt sediment och ändrat bakteriesamhället) efter urgrävningen kan ha ökat nitrifikationen som lett till ökade nitrathalter som inte denitrifierats pga av avsaknaden av syrefria förhållanden, vilket kan ha minskat denitrifikationen.

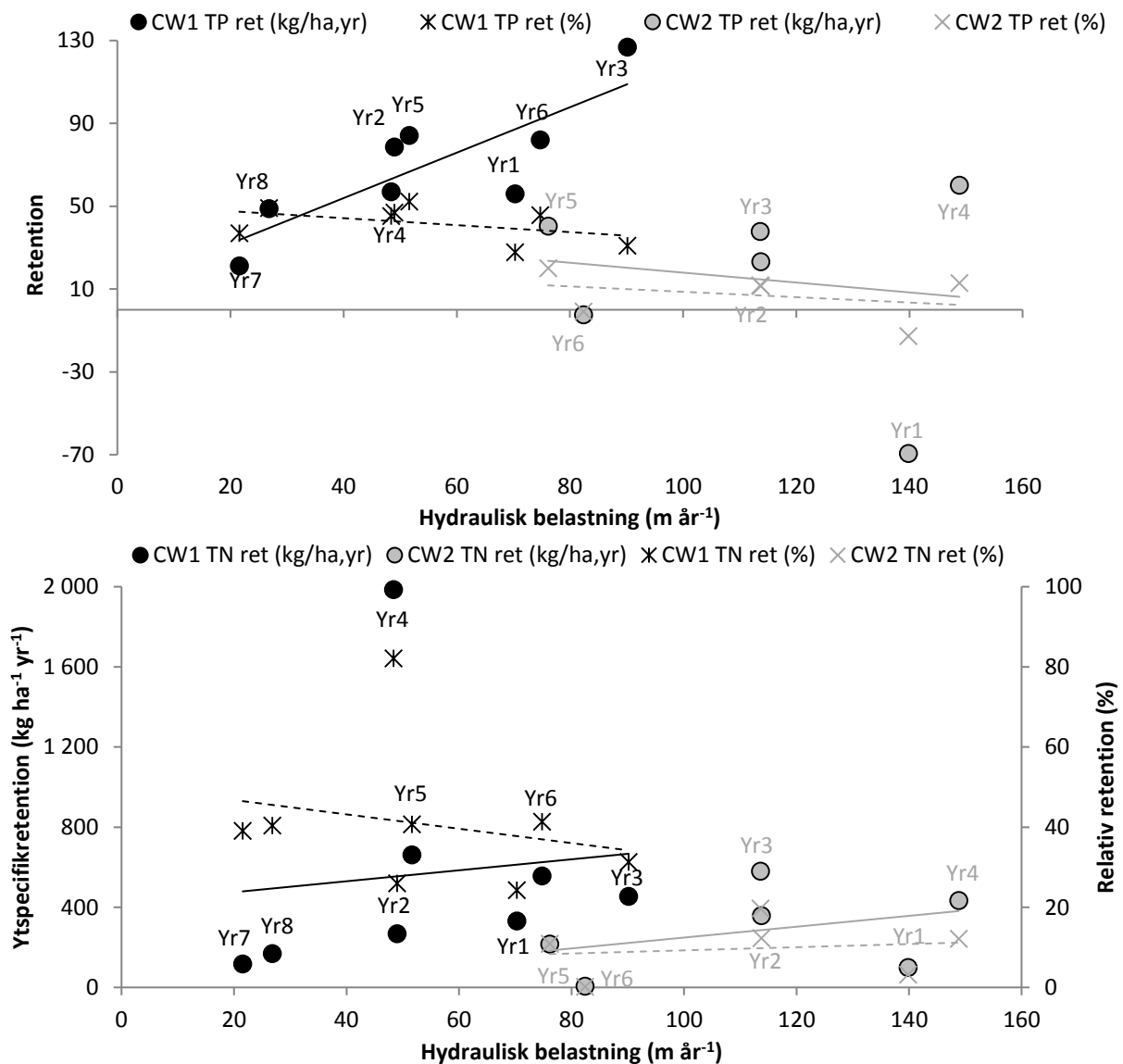


**Figur 2.** In- och utflödande koncentrationer ( $\text{mg L}^{-1}$ ) av total fosfor (TP) och kväve (TN) samt summering av inflödande vatten mängd för respektive provtagningstillfälle i Nybble fosfordamm. Sedimenttömningen hösten 2016 är markerad med pil.

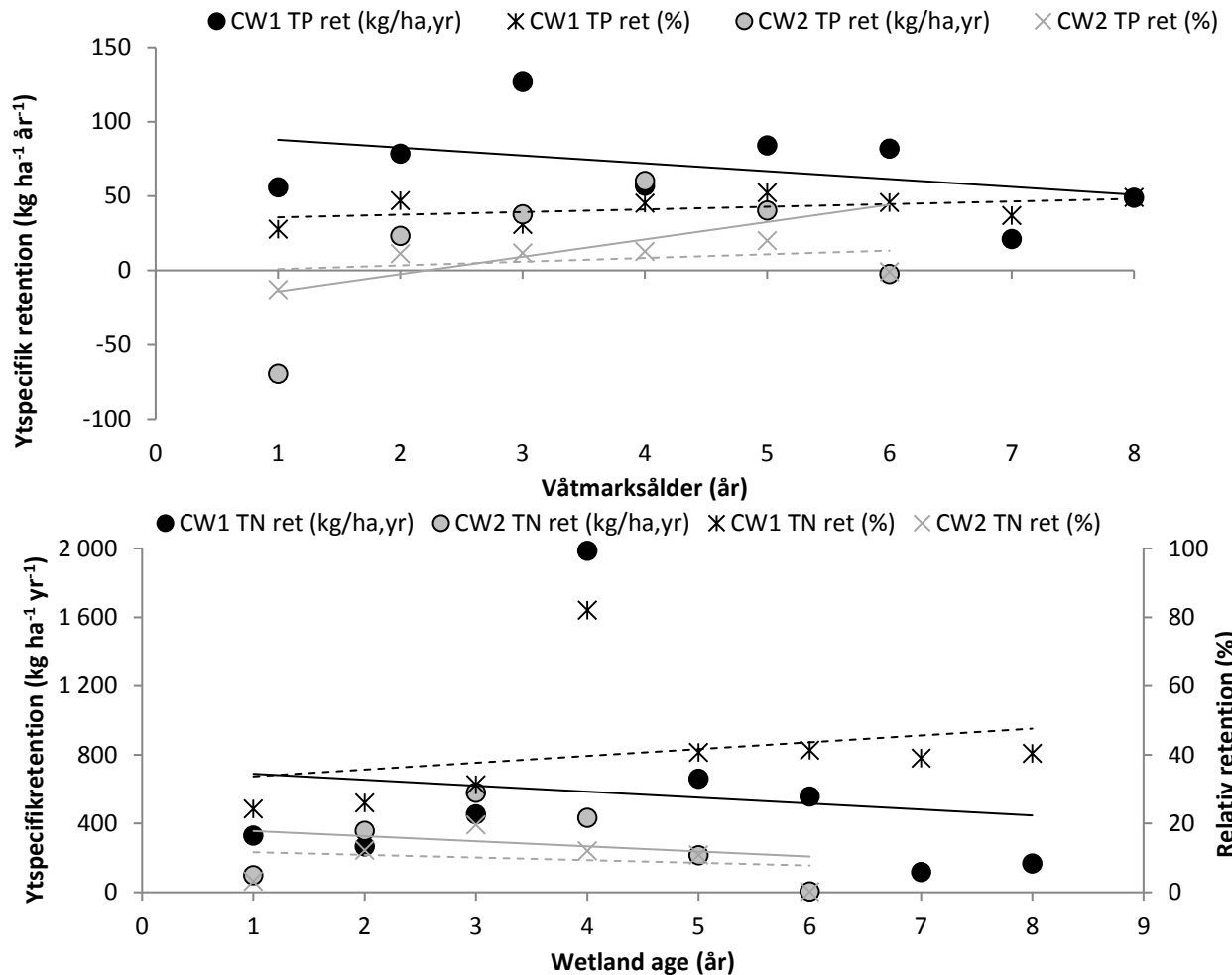
### Bergaholm

Bergaholm fosfordamm har alltsedan den anlades 2009 haft en tydlig avskiljning av alla näringsämnen. I genomsnitt för hela undersökningsperioden 2010-2017 var den relativa avskiljningen: 41 % SS, 40 % TP, 31 % TOC och 46 % TN (Tabell 1). Den låga avrinningen 2017 resulterade i en högre relativ retention 2017 än medelvärdet för alla näringsämnen förutom TOC och TN. I Bergaholm ökade den ytspecifika retentionen ( $\text{kg per ha dammyta och år}$ ) av fosfor och kväve, medan den relativa retentionen (%) minskade med ökad hydraulisk belastning (figur 3). För Nybble är inte tendensen lika tydlig för fosfor, som påverkats av erosionen första året.

Nybble fosfordamm tenderar däremot, till skillnad från Bergaholm, fånga fosfor mer effektivare med åren (figur 4). Nybble fosfordamm mottar en dubbelt så hög hydrauliska belastning jämfört med Bergaholm. Med data från båda fosfordammarna tillsammans tenderar däremot även den ytspecifika retentionen, i likhet med den relativa retentionen, minska med ökad hydraulisk belastning. Om det är en gräns i den hydrauliska belastningen eller om det är platspecifika faktorer (grundvatten tillflöde, dikesrensning etc) som påverkar skillnaden i avskiljningsförmåga mellan dessa två fosfordammar är viktigt att utröna. Vid jämförelse med andra våtmarker har den relativa retentionen i Bergaholmsdammen varit av samma storleksordning eller större, detta trots att de andra våtmarkerna i vissa fall varit större (Berninger et al. 2012; Koskiaho et al., 2016). Den drygt dubbelt så stora norska våtmarken Skuterud fångade i genomsnitt 18% av TP under åtta år (Buseth Blanckenberg m. fl., 2013). Resultaten från samtliga studier visar behovet att följa våtmarkerna under en lång följd av år eftersom variationerna mellan åren både i belastning och effektivitet ofta varit betydande.



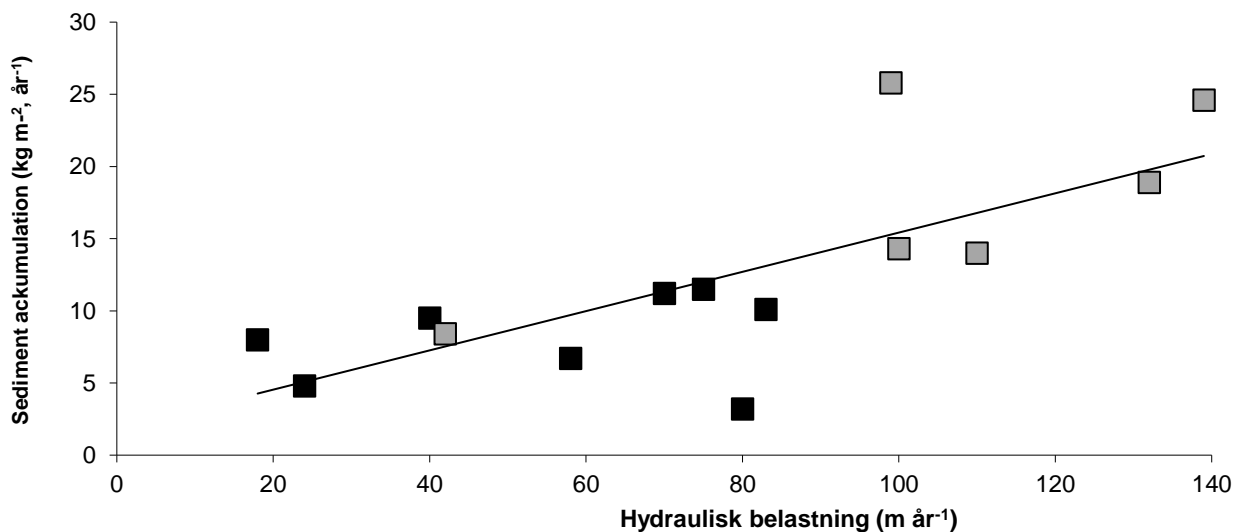
**Figur 3.** Ytspecifika ( $\text{kg ha}^{-1}, \text{år}^{-1}$ ) och relativa (% av belastningen) retentionen av totalfosfor i relation till den hydrauliska belastningen av Bergaholm (CW1) och Nybble (CW2) fosfordamm de olika åren efter respektive damm anlades.



**Figur 4.** Ytspecifika ( $\text{kg ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ ) och relativa (% av belastningen) retentionen av totalfosfor i relation till fosfordammarnas ålder Bergaholm (CW1) och Nybble (CW2).

### Sedimentackumulation

Ansamlat sediment på sedimentationsplattor som vittjats årligen var precis som retentionen av SS baserat på vattenprovtagningen relaterade till den hydrauliska belastningen (figur 5).



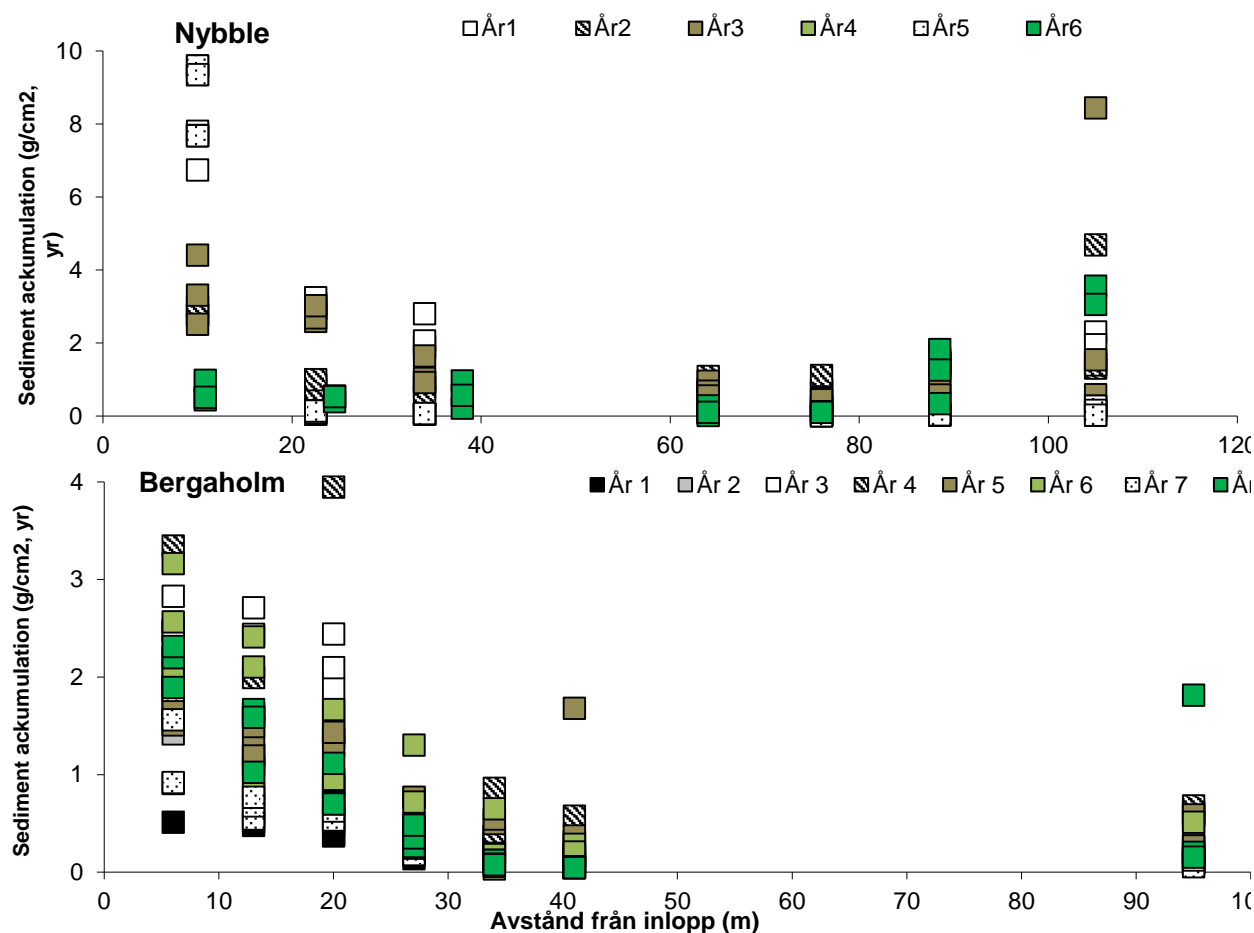
**Figur 5.** Ackumulerad mängd sediment i Nybble (grått) och Bergaholm (svart) fosfordamm i relation till den hydrauliska belastningen.

I Nybble med högre hydraulisk belastning har det sedimenterat förhållandevis mera material än i Bergaholm. Baserat på sedimentprovtagningen har Nybble fosfordamm fångat i medel tio gånger mer fosfor och partiklar jämfört med vattenprovtagningen (Tabell 2). Året (2016/2017) efter urgrävningen sep 2016 har 80 kg TP ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> och 89 t partiklar ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> ansamlats, vilket är lägre än medel och troligen beror på den lägre hydrauliska belastningen. I Bergaholm å andra sidan har lika stor genomsnittlig fosforretention uppskattats med båda metoderna, drygt 70 kg TP ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. För partiklar uppskattas drygt hälften av ansamlat sediment fångas med vattenprovtagningen.

**Tabell 2.** Årsretention (medel och för senaste året sep 2016/sep 2017) av fosfor och partiklar uppskattat med vattenprovtagning och sedimentprovtagning i Nybble och Bergaholm fosfordamm.

Prover	Sediment				Vatten			
	TP (kg ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup> )		Partiklar (t ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup> )		TP (kg ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup> )		TSS (t ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup> )	
	Medel	2016/2017	Medel	2016/2017	Medel	2016/2017	Medel	2016/2017
Nybble	150	80	158	89	15	3	15	7
Bergaholm	75	62	58	60	72	27	30	13

Ansamlat sediment var högst nära inloppet i båda dammarna (figur 6). Efter urgrävningen 2016 har det dock ansamlats mindre material jämfört med Bergaholm. Ansamlingen av sediment det sista året var dessutom högre närmast Nybble utlopp och inte vid inloppet. Sedimenthögen som bildades vid Nybble inlopp efter rensningen av vägdiket det första året eroderade och ökade den interna erosionen. Lägre mängd kan vara en följd av lägre belastning, men också mindre internerosion. Det behövs fortsatt uppföljning, under år med högre avrinning, för att utröna om internerosionen har minskat efter urgrävningen.



**Figur 6.** Ackumulerad mängd sediment på plattorna i olika avstånd från inloppet i Nybble och Bergaholm fosfordamm de olika åren efter anläggning, år 2016/2017 visas i klar grön.

Fosforhalten i det urgrävda sedimentet från Nybbles djupdel var 690 mg TP/kg, vilket är något lägre än medel av materialet från plattorna i den djupa delen (850 mg TP kg jord<sup>-1</sup>), men variationen var stor mellan åren 557-1995 mg TP kg jord<sup>-1</sup>. Växttillgängligt fosfor i det urgrävda sedimentet var X mg P-AL/100g, vilket är högre/lägre än 7,5 en tidigare markkaraktärisering av Nybbles avrinningsområde. Det urgrävda sedimentet bestod av 0,2 % N och 2,6 % C. Det urgrävda sedimentet skulle därmed kunna utgöra ett jordförbättringsmedel med motsvarande fosforinnehåll som uppströms mark.

### **Bergaholm**

Bergaholm fosfordamm har sedan anläggningen sommaren 2009 haft en tillfredställande ackumulation av partiklar och fosfor. Vid sista vittjningen i september 2017 var totala sedimentdjupet, mätt med en mätsticka ner till den hårdare botten från anläggningen, som högst 25 cm i djupdelen. Vattennivån var endast 88 cm i första transekten närmast inloppet. Rören som leder vattnet från inloppsbrunnen där vattenföringsmätningarna sker till fosfordammen har fyllts med ansamlat sediment (figur 7). Redan 2011 hade en liten mängd sediment ansamlats där lite vegetation etablerats, men 2017 har den vuxit så mycket att det blockerar vattnet från inloppsbrunnen att flöda ut. I september 2017 frigjordes röret och en rännil grävdes med en spade för att leda vattnet förbi högen och ut i djupdelen. Detta var endast en provisorisk lösning som behöver upprepas tills fosfordammen kan grävas ur ordentligt under sommarhalvåret 2018. Sommaren 2018 har det gått 9 år sedan fosfordammen anlades. I Norge har en fosfordamm (Skuterud) med tio gånger högre belastning av partiklar och fosfor än Bergaholm och Nybble, rensats vid två tillfällen under en 8-årsperiod (Buseth Blackenberg et al. 2013).



**Figur 7.** Bergaholm fosfordamms inlopp 2011 uppe till vänster 2011 och övriga bilder är från 2017. Rören från inloppsbrunnen som mynnar ut i dammens djupdel har fyllts med ansamlat sediment som förhindrar vatten och partiklar att flöda ut i dammen. Mycket vegetation har etablerats på det ansamlade sedimentet (Foto: Pia Geranmayeh (Kynkäänniemi).

En omfattande jordprovtagning 2009 av hästthagarna och jordbruksfältet i Bergaholm avrinningsområde visade på en stor variation av fosforhalten i marken (Parvage mfl 2011). Totalfosfor varierade mellan 830-1900 mg kg jord<sup>-1</sup> och var i genomsnitt 1160 mg kg jord<sup>-1</sup>. Totalfosforhalten i sedimentproven varierade i



samma utstreckning 730-2050 mg kg jord<sup>-1</sup>, men medelhalten var något högre i sedimentproven (1300 mg kg jord<sup>-1</sup>) än för proverna uppströms dammen. Marken uppströms dammen innehöll 2009 mycket växttillgänglig fosfor (P-AL) i genomsnitt 14 mg 100 g jord<sup>-1</sup>, men på vissa ställen upp till 58 mg 100 g jord<sup>-1</sup>. Det är av stort intresse att vid den kommande urgrävningen under lågflöde sommaren 2018 kommer de urgrävda massorna analyseras på näringsinnehåll (växttillgänglig fosfor, totalkväve och organiskt kol) för att se om lika mycket eller mer fosfor är växttillgängligt än uppströms mark.

### Vad som gjorts

Projektet har som avsett för 2017, följt upp fosforretentionen i de två fosfordammarna Bergaholm och Nybble med två oberoende metoder: flödesproportionella vattenprover och sedimentprovtagning. Det blev dock inte en förbättrad fosforretention på årsbasis efter urgrävningen i Nybble, då få specifika flödestillfällen, hydraulisk belastning och grundvatten tillflöden också påverkar retentionen. Första året efter anläggningen av Nybble fosfordamm var retentionen negativ, men förbättrades kommande år, därför bör uppföljning fortsätta för att klargöra en liknande förbättring i framtiden. Även kväveavskiljningen har uppskattats baserat på vattenprovtagning och analys av kväve och kol. Efter att den stora mängden ansamlad sediment i Nybble fosfordamm grävdes ur den djupa delen hösten 2016, har projektet även tagit prover från det ansamlade materialet ett år efter urgrävningen. Det urgrävda materialet analyserades på näringsinnehållet (växttillgänglig fosfor, totalkväve och organiskt kol). Analysen av växttillgänglig fosfor har förskjutits och sker sista februari, varav resultatet inkommer inom kort. Resultaten med fosfordammarnas näringsretention sammanställs för närvarande i en vetenskaplig artikel som ska skickas in till tidskriften *Water Research* i mars 2018. En populärvetenskaplig rapport om erfarenheterna av tömningen av Nybble fosfordamm med konkreta råd hur tömningen ska utföras har påbörjats. Det vore dock väldigt intressant att vänta något med rapporten och få med resultat från en tömning av Bergaholm fosfordamm, även den under lågflödesperiod men under vegetationsperioden för att se om de förhöjda utflödande kvävehalterna under ett par månader kan begränsas till endast direkt efter urgrävningen som för fosfor. Dessutom innehåller marken i området uppströms Bergaholm fosfordamm betydligt högre halter växttillgänglig fosfor, om detta avspeglas i det urgrävda sedimentet eller inte kvarstår att studera.

### Referenser

- Bergninger K., Koskiaho J., and Tattari S. 2012. *Constructed wetlands in Finnish agricultural environments: Balancing between effective water protection, multi-functionality and socio- economy*. *Journal of Water and Land Development* 17, 19-29.
- Buseth Blankenberg A-G., Delstra, J. Øgaard, A. F. and Pedersen R. 2013. Phosphorus and sediment retention in a constructed wetland. In Bechmann, M. & Deelstra, J (eds). *Agriculture and Environment - Long Term Monitoring in Norway*. Academic Publishing NO-7005 Trondheim, Norway ISBN 978-82-321-0014-9, pp 299-314.
- Geranmayeh P., Johanesson K., Ulén B. and Tonderski K.S. 2018. *Particle deposition, resuspension and phosphorus accumulation in small constructed wetlands*. *Ambio* 47:134-145.
- Johannesson K.M., P. Kynkäänniemi, B. Ulén & K.S. Tonderski. 2014. *Phosphorus and particle retention in constructed wetlands- a catchment comparison*. *Ecological Engineering* 80: 20-31.
- Koskiaho J., Siimekdela T., Puustinen K. 2016. *Suspended solids and nutrient retention in rural constructed wetlands in cold climate*. *Geophysical Research Abstract Vol 18 EGU 2016-14219*, 2016.
- Kynkäänniemi (Geranmayeh), P. 2014. *Small wetlands designed for phosphorus retention in Swedish agricultural areas – efficiency variations during the first years after construction*. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae No 2014:70.
- Parvage M.M., Kirchmann H., Kynkäänniemi P. & Ulén B. 2011. *Impact of horse grazing and feeding on phosphorus concentrations in soil and drainage water*. *Soil Use and Management*, 27:367–375.
- Ulén B. 2004. Size and settling velocities of phosphorus-containing particles in water from agricultural drains. *Water Air and Soil Pollution* 157, 331-343.
- Ulén B., Von Brömssen C., Kyllmar K., Djodjic F., Stjernman Forsberg L. & Andersson S. 2012. Long-term temporal dynamics and trends of particle-bound phosphorus and nitrate in agricultural stream waters. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 62, 217-228.