



Förbättring av beräkning av erosion och sedimentation (retention) i små vattendrag

Niclas Hjerdt, SMHI

Maja Brandt, SMHI

Charlotta Pers, SMHI

Jörgen Rosberg, SMHI

Publicering: www.smed.se

Utgivare: Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut

Adress: 601 76 Norrköping

Startår: 2006

ISSN: 1653-8102

SMED utgör en förkortning för Svenska MiljöEmissionsData, som är ett samarbete mellan IVL, SCB, SLU och SMHI. Samarbetet inom SMED inleddes 2001 med syftet att långsiktigt samla och utveckla den svenska kompetensen inom emissionsstatistik kopplat till åtgärdsarbete inom olika områden, bland annat som ett svar på Naturvårdsverkets behov av expertstöd för Sveriges internationella rapportering avseende utsläpp till luft och vatten, avfall samt farliga ämnen. Målsättningen med SMED-samarbetet är främst att utveckla och driva nationella emissionsdatabaser, och att tillhandahålla olika tjänster relaterade till dessa för nationella, regionala och lokala myndigheter, luft- och vattenvårdsförbund, näringsliv m.fl. Mer information finns på SMEDs hemsida www.smed.se.

Förord

Denna studie är ett uppdrag från Naturvårdsverket till SMED, Svenska MiljöEmissionsData, för att förbättra beräkningen av näringsämnesbelastningen på våra kustvatten.

Olika medarbetare vid SMHI har arbetat inom detta projekt under våren och sommaren 2009. Maja Brandt utformade projekttidén, skrev projektspecifikationen samt var ett stort stöd under rapportskrivandet. Jörgen Rosberg och Charlotta Pers vid forskningsavdelningen hjälpte till att definiera alternativa avskiljningsprocesser som skulle utvärderas, och Charlotta implementerade sedan dessa funktioner i HBV-NP modellen. Niclas Hjerdt var projektledare, genomförde modellberäkningarna, analyserade resultaten och var huvudansvarig för rapporten.

Innehåll

FÖRORD	1
INNEHÅLL	2
SAMMANFATTNING	3
BAKGRUND	4
SYFTE	5
METODIK	6
Sedimentation och resuspension	6
Förslag 1: Avskiljning proportionell mot dygnstemperaturen	8
Förslag 2: Avskiljning relaterad till långtidsmedeltemperaturen	8
Förslag 3: Avskiljning proportionell mot sedimentpoolen	9
Förslag 4: Avskiljning proportionell mot vattendjupet	9
Förslag 5: Avskiljning proportionell mot belastning från mark	9
Försöksområden	10
Genomförande	13
DISKUSSION OCH SLUTSATSER	14
Sedimentation och nettosedimentation	14
Jämförelse mellan de föreslagna avskiljningsprocesserna	15
Beräknad reducering av simulerad medelhalt	24
Framtidsutsikter	25
REFERENSER	27

Sammanfattning

Under arbetet med att beräkna den vattenburna belastningen av fosfor till Sveriges omgivande havsbassänger inom SMED har det noterats att partikulärt bunden fosfor ofta överskattas i simuleringarna i små områden. Fosforutsläpp från jordbruksläckage är framräknade med ICECREAMDB och inkluderar redan retentionen i marken fram till vattendragen (Johnsson m.fl., 2008), och därför finns ingen funktion för ytterligare avskiljning i marken. Det finns heller ingen avskiljning i småvattendrag fram till vattendraget i den hydrologiska modellen. Det är dock troligt att det förekommer en avskiljning av partikulär fosfor i diken och i mindre vattendrag under lågvattenföring och resuspension vid höga flöden. Syftet med denna studie är att ta fram en funktion för permanent avskiljning av partikulärt bunden fosfor kopplat till de små vattendragen och att testa detta i ett antal mindre sjölösa jordbruksområden för att i framtiden förbättra de nationella beräkningarna av fosforbelastningen.

Studien omfattar 16 områden i mellersta och södra Sverige där synoptiska fosformätningar inkluderar fraktionerna löst reaktiv fosfor och partikulär fosfor. Jordbruksandelen varierar mellan 15-88% av områdenas yta. Den hydrologiska modellen med rutin för fosforberäkning, HBV-NP, har modifierats för att testa fyra alternativa processer för permanent avskiljning av partikulärt bunden fosfor genom sedimentation i små vattendrag (lokal avskiljning) samt en process för markretention i utströmningsområdet.

Resultaten visar att de fyra föreslagna avskiljningsprocesserna som verkar genom sedimentation uppför sig likvärdigt och att man får liknande resultat oavsett vilken process som används. Avskiljning genom markretention av jordbruksläckage och enskilda avlopp ger normalt större effekt än avskiljning genom sedimentation. I de flesta fall krävs mycket hög permanent avskiljning av partikulär fosfor i sedimenten eller från jordbruksläckage/enskilda avlopp för att reducera halterna framräknade i PLC5 till samma nivå som observationerna. Enstaka observerade koncentrationstoppar är svåra att reproducera med modellen, men medelhalter stämmer relativt väl efter maximal avskiljning. Det är fysikaliskt osannolikt att all sedimenterad fosfor binds permanent i diken/små vattendrag, eller att all partikulär fosfor från jordbruksmark och enskilda avlopp avskiljs, och detta kan vara en indikation på att antingen läckagekoefficienterna för partikulär fosfor är överskattade och/eller att sedimentationen underskattas av den hydrologiska modellen. I PLC5-beräkningarna styrdes sedimentation/resuspension av en enda parameter i modellen, vilket gav begränsade möjligheter för justering av denna dynamik. En möjlighet som bör utredas i framtiden vore att införa en flexibel inställning av flödesintervall mellan full sedimentation/resuspension, och kanske knyta detta intervall till de dominanta jordarterna i områdena för att sedan generalisera kalibreringen nationellt.

Vår slutsats är dock att de simulerade halterna av partikulär fosfor i samtliga 16 områden förbättras åtskilligt när permanent avskiljning används.

Bakgrund

Retentionsberäkningar för fosfor utfördes för första gången heltäckande för Sverige i PLC5-beräkningen med hjälp av HBV-NP modellen (Brandt m.fl., 2008). Vattendrag ingår som en del i modellen. I modellen finns en funktion som beskriver utbyte mellan löst reaktivt och partikulär fosfor i vattendrag som påverkar de simulerade halterna men som inte avlägsnar fosfor. Dessutom finns en funktion med vilkens hjälp man kan erodera sidor och bottnar och på det sättet tillföra partikulär fosfor till vattendraget. Den senare funktionen har använts för att simulera erosion i Göta älv (Brandt och Hjerdt, 2008). Dessa funktioner berör vatten från alla belastningskällor. Modellen beskrivs mer ingående i SMED rapport 2006 nr16 (Johnsson m.fl., 2006).

HBV-NP modellen tar emot fosfor från markläckage via läckagekoefficienter, olika för olika markanvändning, grödor, jordarter, etc. I PLC5s läckagekoefficienter för jordbruksmark finns inbakad en generell retention i fältet (Johnsson m.fl., 2008). Däremot saknas eventuell avskiljning i diken/småvattendrag som leder till de större vattendragen som modelleras av HBV-NP i PLC5-tillämpningen. Det sker troligen en sedimentation under lågvattenflöden och en utsköljning i samband med flöden. En del fosfor stannar dock för gott i vattendraget genom sedimentation och upptag i växter. Jordbruksdiken rensas med några års mellanrum vilket tyder på en sedimentation i vilken fosfor kan finnas anrikad.

I PLC5-beräkningarna användes en generell parameter för utbytet mellan löst och partikulär fosfor i vattendrag hämtad från VASTRA-projektet (Jöborn m.fl., 2006). Den får i stora vattendrag relativt liten effekt och påverkar mycket lite totalfosforhalten och transporten. I vissa små vattendrag som användes för att fastställa markretentionen för kväve, gjordes några försök med att justera denna parameter för att få bättre dynamik för löst respektive partikulär fosfor jämfört med uppmätta halter, men då fanns inte möjlighet att lägga ner tillräckligt mycket tid på detta. Vid utvärderingen av PLC5-beräkningarna noterades att den simulerade partikulära halten ofta är för hög i de små sjölösa jordbruksområdena i jämförelse med mätdata. Det är därför önskvärt att lägga till en funktion i modellen som möjliggör en lagring och eventuell avskiljning av partikulär fosfor i mindre vattendrag som tidvis har mycket låg vattenhastighet eller är mer eller mindre stillastående.

För kväve finns framtaget en markretention, som enbart fungerar på jordbruksläckage och enskilda avlopp. Markretentionen beskrivs som en funktion (beroende av temperatur och belastning), där en parameter kalibreras fram utifrån mätdata i små sjölösa områden per läckageregion (eller delar av dessa) och låses för hela regioner före kalibreringen av retentionen i sjöar. Markretention av kväve och fosfor kommer att förbättras inom projektet 'Kalibrering och validering av jordbruksläckagekoefficienter och beräkning av retention i små sjölösa områden' (Avtal 3080912). Avsikten med föreliggande projekt är att finna en liknande lösning för fosforsedimentation i diken/små vattendrag för användning vid storskalig belastningsberäkning.

Syfte

Syftet med projektet är att gå igenom befintliga funktioner för erosion och sedimentation av fosfor i HBV-NP:s vattendragsbeskrivning samt föreslå hur man kan beskriva en lagring och en avskiljning som är definitiv i modellen och att tillämpa och utvärdera den i ett antal små sjölösa områden. Dessutom ska en funktion för avskiljning som endast verkar på jordbruksläckage och belastning från enskilda avlopp utvärderas. Avsikten är att hitta en funktion som kan användas vid kalibrering av framtida beräkningar, t.ex. PLC6.

Metodik

HBV-NP modellen finns i PLC5-versionen uppsatt för ett 50-tal små sjölösa områden som har mätdata i utloppet. Simuleringar i dessa områden av kväve- och fosforhalter användes dels för kalibrering av markretention för kväve och dels för en bedömning hur väl det samlade fosforläckaget från respektive område i PLC5-beräkningen överensstämde med mätdata. Erfarenheter från dessa utvärderingar av fosforsimuleringarna ligger till grund för den översyn av ICECREAMDB som pågår. ICECREAMDB är verktyg för att fysikaliskt beräkna fosforläckage från jordbruksmark (Johnsson m.fl., 2008). Områdena varierar från mycket små områden på någon km² till PLC5-storlek (250 km²).

I detta projekt valdes områden ut där mätningar av fraktionen partikulär fosfor fanns och användes för att testa fram lämplig funktion som kan beskriva en permanent avskiljning av partikulär fosfor i vattendrag. Funktionen baserades på variabler som finns framtagna för PLC5-modelluppsättningen för Sverige (t.ex. lokal vattendragslängd, vattenhastighet, vattendjup och dödvolymer). Avsikten är att använda funktionen i PLC6 och liknande framtida beräkningar.

Befintliga PLC5-data användes inom denna studie och syftet var att visa hur funktionen kan användas vid kalibrering. Några definitiva kalibreringar eftersträvades inte eftersom det samtidigt pågår ett annat utvecklingsprojekt inom SMED för att förbättra läckagekoefficienter för jordbruksmarken. Funktionen testades i flera olika typer av vattendrag (med olika andel jordbruksmark och skog) för att utreda om den var robust och om det går att använda framtagna parametrar generellt för större regioner. Grundhypotesen var att den eftersträvade avskiljningsprocessen enbart berör dikena/små vattendrag och därför bör läggas på de lokala tillflödena i området och inte i huvudfåran (som även kan transportera vatten från ovanliggande områden).

Sedimentation och resuspension

I HBV-NP modellen simuleras sedimentation och resuspension av partikulär fosfor i vattendrag genom en rutin som ursprungligen utvecklats av Jörgen Rosberg (Rosberg, 2003). Nedan ges en kortfattad beskrivning av beräkningarna för att få en bakgrund till de modellförändringar som sedan testats.

Resuspensionen sker enbart från en pool i modellen som består av tidigare sedimenterat partikulär fosfor, och är därför åtskild från en eventuell permanent erosionsprocess. Funktionen för sedimentation och resuspension i befintlig modellversion omfördelar därför endast den partikulära fosfor i tiden och har ingen påverkan på den totala transporten av fosfor eller vattendragets morfologi. All partikulär fosfor som sedimenterar dras bort från den vattenfasen och läggs till en sedimentpool. Resuspensionen överför sedan fosfor från denna pool till suspension igen. Balansen mellan sedimentation och resuspension beror av vattenföringen. Vid låg vattenföring dominerar sedimentationen:

$$\Psi = C_{part} \cdot \left(\frac{(Q_{bredd} - Q)}{Q_{bredd}} \right)^{sedrelease} ; \Psi \in [0,1] \quad (1)$$

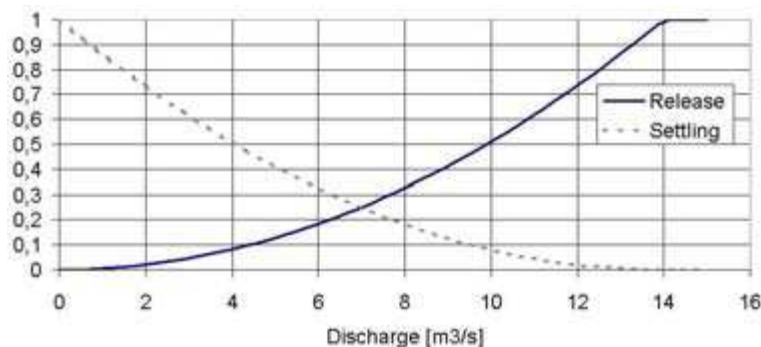
där Q är aktuell vattenföring, Q_{bredd} är "bankfull" vattenföring (en vattenföring som inträffar med 0,5 % sannolikhet eller vanligtvis någon gång per år), $sedrelease$ är en parameter som kalibreras, C_{part} är koncentrationen av partikulär fosfor i vattnet, och Ψ är den resulterande delen av C_{part} som hamnar i sedimentpoolen, $sedpool$.

När vattenföringen successivt ökar så ökar resuspensionen av partikulär fosfor från sedimentpoolen, och når maximum vid $Q=Q_{bredd}$:

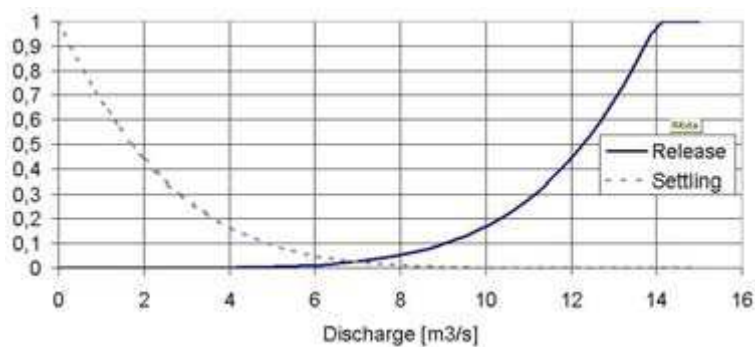
$$\Xi = sedpool \cdot \left(\frac{Q}{Q_{bredd}} \right)^{sedrelease} ; \Xi \in [0,1] \quad (2)$$

där Ξ är andelen partikulär fosfor i $sedpool$ som återförs till vattnet. Funktionen är konstruerad så att full resuspension (mobilisering av hela sedimentpoolen) sker vid en vattenföring som motsvarar Q_{bredd} medan total sedimentation sker vid noll vattenföring.

I HBV-NP kontrolleras alltså både sedimentationen och resuspensionen av en parameter, $sedrelease$. När $sedrelease = 0$ (eller är odefinierad) så beräknas ingen sedimentation/resuspension i modellen. Ett lågt värde på $sedrelease$ medför att både sedimentation och resuspension avtar/ökar relativt konstant med vattenföringen (Figur 1), medan ett högt värde ger en mer exponentiellt avtagande/ökande process med vattenföringen (Figur 2). Rosberg (2003) rekommenderar att $sedrelease$ sätts till ett värde mellan 0-5. Ett lågt värde kan vara lämpligt i vattendrag med finkorniga sediment medan ett högre värde torde passa bättre i vattendrag med grövre sediment.



Figur 1. Sedimentation ("settling") och resuspension ("release") för ett vattendrag med parametern $sedrelease=2,0$. Från Rosberg (2003).



Figur 2. Sedimentation ("settling") och resuspension ("release") för ett vattendrag med parametern $sedrelease=5,3$. Från Rosberg (2003).

I denna studie utvärderas fyra olika förslag på processer som permanent avskiljer partikulär fosfor i vattendrag, som vi bedömde som tänkbara. Gemensamt för förslagen är att de verkar genom sedimentations-/resuspensionsprocessen. Det är alltså en förutsättning att sedimentation/resuspension beräknas i modellen, d.v.s. att $sedrelease > 0$. Därutöver testas ett förslag på process med permanent avskiljning av partikulär fosfor från jordbruksmarkens vattenflöde till vattendraget och från utsläpp av enskilda avlopp.

Förslag 1: Avskiljning proportionell mot dygns-temperaturen

Denna process simulerar ett permanent bortfall av partikulär fosfor i sedimentpoolen, $permsedP$, (så länge det finns material) som är proportionellt mot lufttemperaturen ($temp$) i varje tidssteg så länge temperaturen är över noll, annars noll:

$$permsedP = p1 \cdot sedpool \cdot temp \quad (3)$$

där $p1$ är en parameter som kalibreras. Resultatet blir att sedimentpoolen minskar under sommarhalvåret när temperaturen är hög, medan den är relativt oförändrad under vinterhalvåret. Grundtanken med denna funktion är att avskiljningen är en biologisk eller kemisk process proportionell mot temperaturen och som huvudsakligen äger rum under sommarhalvåret.

Förslag 2: Avskiljning relaterad till långtids-medeltemperaturen

Liknande förslag 1 så är även denna process temperaturberoende, med skillnaden att Arrhenius (van't Hoff) exponentiella temperaturfunktion ($tempfkn$) används istället för dygns-temperaturen:

$$tempfkn = 0,85^{ABS(T^{20-15})} \quad (4)$$

där T_{20} är den löpande medeltemperaturen de senaste 20 dyggen. Fosfor avskiljs i sedimentpoolen i varje tidssteg enligt:

$$permsedP = p_2 \cdot sedpool \cdot tempfkn \quad (5)$$

där p_2 är en parameter som kalibreras. Resultatet blir en mer utjämnad process jämfört med förslag 1, eftersom dygnsvariationen i temperatur inte har lika stark påverkan. Temperaturfunktionen $tempfkn$ når maximum (=1) när medeltemperaturen är 15°C och minskar omvänt exponentiellt för både lägre och högre temperatur.

Förslag 3: Avskiljning proportionell mot sedimentpoolen

Den kanske enklaste processen representeras av en konstant proportionell avskiljning av fosfor från sedimentpoolen:

$$permsedP = p_3 \cdot sedpool \quad (6)$$

där p_3 är en parameter som kalibreras i intervallet 0-1. Resultatet blir att sedimentpoolen byggs på långsammare under lågflöden än vad som annars vore fallet, vilket i sin tur gör att resuspensionen vid högflöden minskar. Under lågflöden påverkas inte koncentrationen av partikulär fosfor i vattnet nämnvärt. Processen minskar alltså framför allt mobiliseringen av partikulär fosfor vid flödestoppar.

Förslag 4: Avskiljning proportionell mot vattendjupet

I denna process antas avskiljningen av fosfor vara beroende av både sedimentpoolen och vattendjupet (d_{jup}):

$$permsedP = p_4 \cdot sedpool \cdot djup \quad (7)$$

där p_4 är en parameter som kalibreras. Vattendjupet varierar med vattenföringen. När vattendjupet ökar så ökar både bortfallet och resuspensionen, vilket resulterar i att sedimentpoolen snabbt minskar.

Förslag 5: Avskiljning proportionell mot belastning från mark

Detta förslag skiljer sig från de tidigare i och med att avskiljningen sker på det partikulära fosfor som lämnar modellens markrutin och att det fungerar oberoende av resuspensions- och sedimentationsprocessen i vattendraget. Den fosfor som

påverkas kommer från jordbruksmark och enskilda avlopp. Processen är enkel och representeras av en konstant proportionell avskiljning av denna fosfor:

$$permsedP = p5 \cdot soiloutconc \quad (8)$$

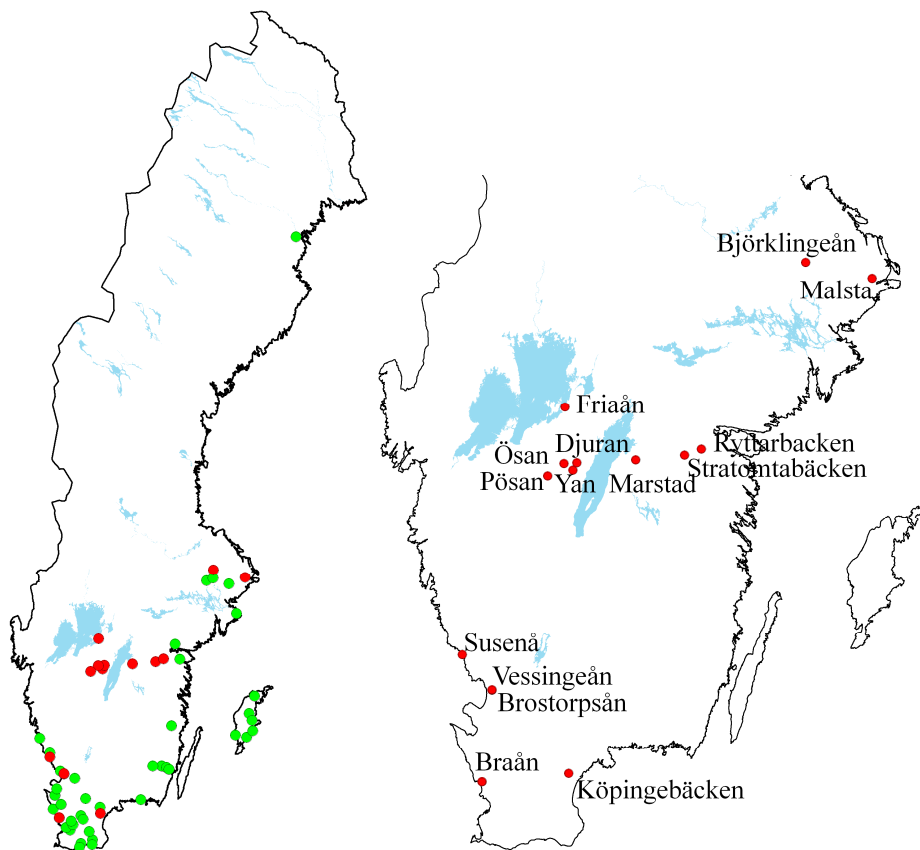
där $p5$ är en parameter som kalibreras i intervallet 0-1, och $soiloutconc$ (mg/l) är koncentrationen av partikulär fosfor från jordbruksläckage och enskilda avlopp sammantagna. Resultatet blir att tillskottet av partikulär fosfor till vattendraget minskar.

Försöksområden

61 mindre sjölösa områden finns uppsatta för HBV-NP sedan HELCOM PLC5. Av dessa har 16 områden synoptiska mätserier med totalt, vattenlöst reaktivt samt partikulär fosfor (Figur 3, Tabell 1). I denna studie används dessa 16 områden för att utvärdera effekterna av olika typer av permanent sedimentation/upptag av partikulär fosfor. Det är ofta stora avstånd mellan områdena, och kan därför vara svårt att generalisera resultaten till en heltäckande bild över landet.

Områdena varierar i storlek mellan 1,8-450 km² och har jordbruksmark på mellan 15-88% av ytan (Tabell 1). Skogstäckningen varierar mellan 0-58% och några områden har tätortsbebyggelse på ett fåtal procent av arealen. Ett område, Brostorp-sån, består nästan till en tredjedel av myrmark, men i övriga områden är myrmarksandelen liten.

Jordbruksläckaget står för den övervägande delen av den totala bruttobelastningen av partikulär fosfor i försöksområdena och varierar mellan 51-92% (Tabell 2). Bortsett från markläckaget finns även utsläpp av fosfor från punktkällor i områdena. Utsläppen från enskilda avlopp varierar mellan 1-11% av den totala bruttobelastningen i områdena, dagvattenutsläppen motsvarar 0-10% och utsläppen från reningsverk varierar mellan 0-23% (Tabell 2). Utsläpp från enskilda avlopp behandlas som en diffus källa i HBV-NP och adderas till grundvattnet liksom jordbruksläckaget.



Figur 3. De små sjölösa områden (basins) som finns uppsatta i HBV-NP med observationer av partikulär fosfor (röda punkter) samt övriga (gröna punkter). Av totalt 61 områden har 16 områden mätserier av partikulär fosfor (se höger kartbild).

Tabell 1. Area, markanvändning och dominerande jordart i de studerade områdena, baserat på Röda Kartan och jordartskartor.

Namn	Total area km ²	Jordbruk	Dom. jordart ¹	Skog	Övrig	Hygge	Myr	Vatten	Tätbygd
Malsta	38,6	47%	cl	35%	15%	1%	1%	1%	0%
Björklingeån	215,4	26%	cl	54%	10%	3%	5%	1%	1%
Marstabäcken	16,7	88%	sl	3%	10%	0%	0%	0%	0%
Stratombäcken	20,9	63%	c	11%	16%	1%	0%	0%	9%
Ryttarbacken	7,3	59%	c	25%	14%	2%	0%	0%	0%
Köpingebäcken	1,8	87%	sl	0%	13%	0%	0%	0%	0%
Braån	141,7	81%	l, sl	3%	11%	1%	0%	0%	4%
uppstr Braån	212,4	78%	l, sl	6%	12%	1%	0%	0%	2%
Vessingeån	55,4	40%	sl	34%	10%	1%	11%	0%	3%
Brostorpsån	82,0	15%	l	46%	9%	1%	29%	0%	0%
Susenå	450,0	26%	sl	58%	8%	2%	3%	1%	1%
Friaån	255,6	40%	l, sl	39%	14%	2%	4%	0%	2%
Yan	105,3	28%	sl	56%	12%	3%	1%	0%	0%
Djuran	42,5	57%	sicl	31%	8%	3%	0%	0%	2%
Ösan	167,1	48%	sl	33%	15%	1%	1%	0%	0%
Pösan	71,0	40%	sl	32%	16%	1%	7%	1%	2%

¹ Jordarter enligt internationell texturklassning: sand (s), loamy sand (ls), sandy loam (sl), loam (l), silt loam (sil), sandy clay loam (scl), clay loam (cl), silty clay loam (sicl), silty clay (sic) och clay (c).

Tabell 2. Bruttobelastningen av partikulär fosfor per område med respektive andelar från jordbruksläckage, enskilda avlopp, dagvatten och kommunala reningsverk. Områdena har sorterats efter fallande andel jordbruksmark (se Tabell 1). Resultaten visar genomsnittlig belastning för perioden 1985-2004.

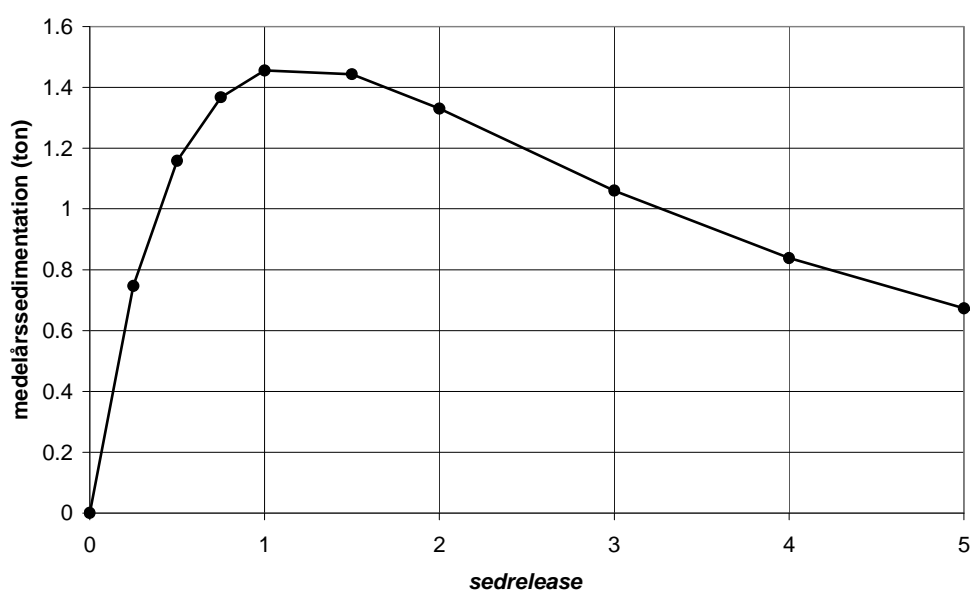
Namn	Total area km ²	Total bruttobelastning av part-P (kg/km ² år)	Andel från jordbruksläckage (%)	Andel från enskilda avlopp (%)	Andel från dagvatten (%)	Andel från reningsverk (%)
Marstabäcken	16.7	5	79%	7%	0%	0%
Köpingebäcken	1.8	9	76%	11%	0%	0%
Braån	141.7	39	90%	2%	4%	0%
uppstr Braån	212.4	31	90%	3%	1%	0%
Stratombäcken	20.9	34	84%	2%	10%	0%
Ryttarbacken	7.3	24	92%	3%	0%	0%
Djuran	42.5	23	90%	1%	2%	1%
Ösan	167.1	19	85%	2%	1%	0%
Malsta	38.6	19	90%	1%	0%	0%
Vessingeån	55.4	23	51%	2%	9%	23%
Friaån	255.6	14	74%	4%	4%	2%
Pösan	71	12	61%	4%	8%	3%
Yan	105.3	6	54%	8%	2%	0%
Björklingeån	215.4	18	83%	5%	1%	1%
Susenå	450	14	63%	3%	6%	0%
Brostorpsån	82	18	70%	1%	0%	3%

Genomförande

De 16 områdena med kompletta mätserier simulerades inledningsvis utan någon sedimentation/resuspension och resulterande simulerad koncentration av partikulär fosfor plottades tillsammans med observerade värden. Därefter testades de fyra första föreslagna rutinerna för permanent avskiljning och de simulerade halterna jämfördes inbördes och med observerade halter. Därefter beräknades den med denna metod maximala reduktionen av partikulär fosfor genom att använda *sedrelease*=1 och *p3*=1 (se Förslag 3: Avskiljning proportionell mot sedimentpoolen). Denna simulering ger en slags lägsta nivå för modellen med avskiljning genom sedimentation och de observationer som faller under denna nivå går inte att reproducera med modellen. I nästa steg användes funktionen för retention av jordbruksläckage och belastning från enskilda avlopp (se Förslag 5: Avskiljning proportionell mot belastning från mark). I dessa simuleringar användes *p5*=1 för att beräkna den maximala reduktionen av fosforhalten. Till sist beräknades medelhalter för de olika simuleringarna, samt den absoluta differensen mellan simulerade medelhalter utan/med permanent avskiljning.

Diskussion och slutsatser

Genom att aktivera funktionen för sedimentation/resuspension påverkades koncentrationen av partikulär fosfor i vattendragen stort. Utan denna funktion varierar de beräknade halterna av partikulär fosfor relativt begränsat med tiden. Med sedimentation/resuspension fås en större variation av halterna. Variationen är beroende av det kalibrerade värdet hos *sedrelease*. Den totala sedimentationen under ett år är högst när *sedrelease*=1 (Figur 4). Då skapar ekvation (1) och (2) helt linjära funktioner som är varandras inverser. Så länge vattenföringen är lägre än $0,5 * Q_{bredd}$ dominerar sedimentationen, annars dominerar resuspensionen.



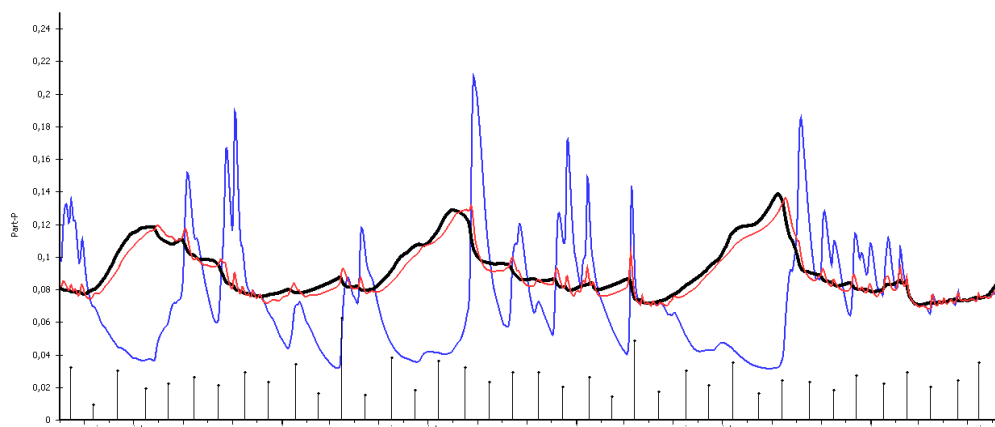
Figur 4. Beräknad medelårssedimentation (ton) för perioden 1983-2004 i Björklingeån som funktion av parametern *sedrelease*.

Sedimentation och nettosedimentation

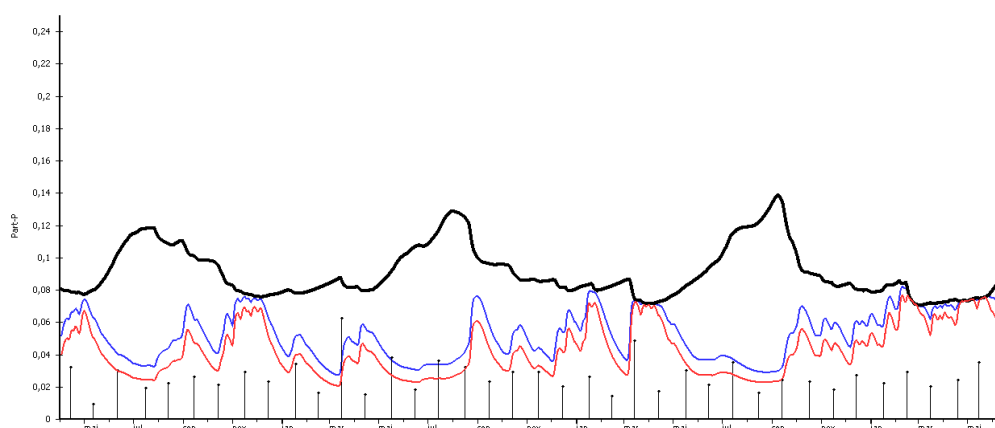
Det är viktigt att skilja mellan sedimentation och *nettosedimentation*, vilket beräknas som sedimentation-resuspension. När *sedrelease*=1 används blir de beräknade halterna av partikulär fosfor relativt likvärdiga de halter som beräknas utan sedimentation/resuspension (Figur 5), trots att sedimentationen då är störst (Figur 4). Detta beror på att det är nettosedimentationen som avgör hur halten förändras, och nettosedimentationen kan vara liten trots att en betydande mängd sediment ändå genomgår sedimentation/resuspension. När all fosfor i sedimenten avskiljs permanent åskådliggörs sedimentationens storlek tydligt eftersom då kan ingen fosfor komma tillbaka genom resuspension (Figur 6). Med *sedrelease*=1 och maximal permanent avskiljning beräknas det högsta bortfallet av partikulär fosfor i modellen. Detta val av parametrar ger den största möjliga reduktionen av halten partikulär fosfor i vattendragen och är intressant att beräkna och jämföra med observerade och tidigare beräknade halter.

Jämförelse mellan de föreslagna avskiljningsprocesserna

När de föreslagna avskiljningsprocesserna jämfördes var det svårt att urskilja några systematiska skillnader mellan beräknade fosforhalter. Det gick att kalibrera samtliga funktioner till liknande resultat. Detta gjorde att beräkningar med endast en av avskiljningsprocesserna, avskiljning proportionell mot sedimentpoolen redovisas i fortsättningen (Förslag 3). Anledningen till att just denna rutin valdes ut var att den var minst komplicerad eftersom den ger en konstant proportionell avskiljning under året. Känsligheten hos parametern $p3$ testades i intervallet 0-1, där $p3=0$ ger ingen permanent avskiljning och $p3=1$ ger maximal permanent avskiljning.



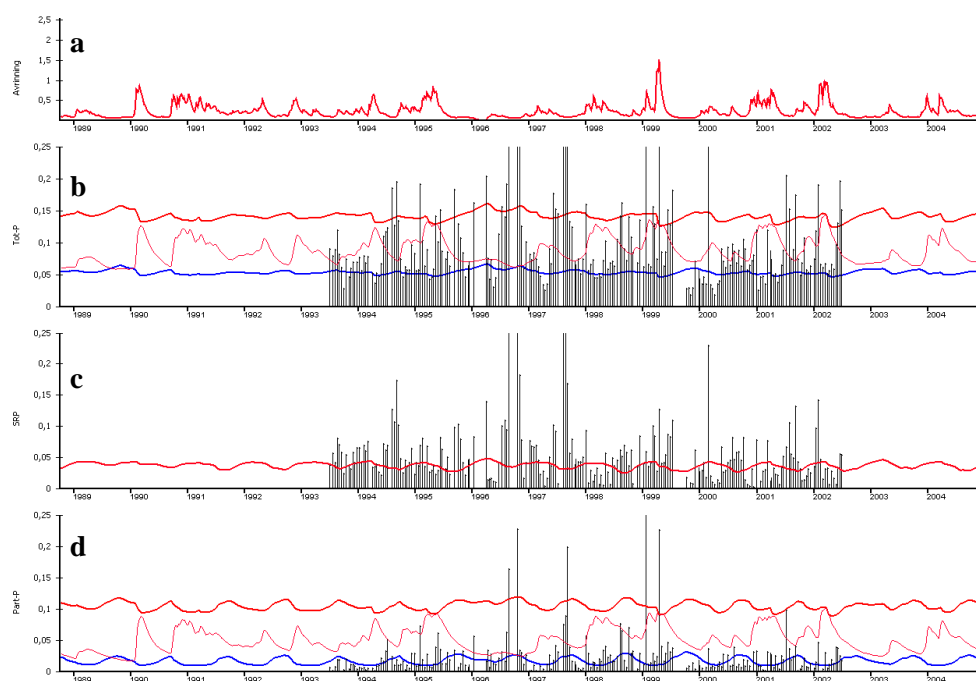
Figur 5. Observerade (svarta staplar) och simulerade halter av partikulär fosfor i Björklingsbäcken med $sedrelease=0$ (svart kurva), $sedrelease=1$ (röd kurva) samt $sedrelease=3$ (blå kurva).



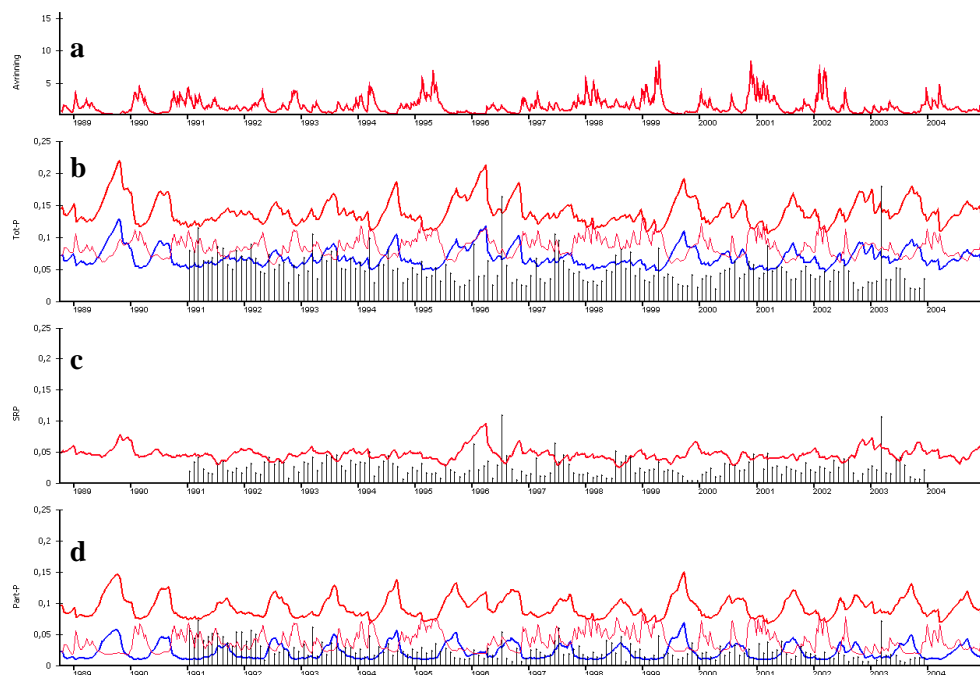
Figur 6. Observerade (svarta staplar) och simulerade halter av partikulär fosfor i Björklingsbäcken med $sedrelease=0$ (svart kurva), $sedrelease=1$ (röd kurva) samt $sedrelease=3$ (blå kurva) när all den sedimenterade fosfor avskiljs permanent.

På ett tidigt stadium framgick att en stor avskiljning krävdes för att de simulerade halterna skulle kunna reduceras tillräckligt. Därför avbröts försöken att individuellt kalibrera områdena. Arbetet begränsades i stället till att simulera den ursprungliga fosforhalten (utan sedimentation och avskiljning) och den maximalt reducerade

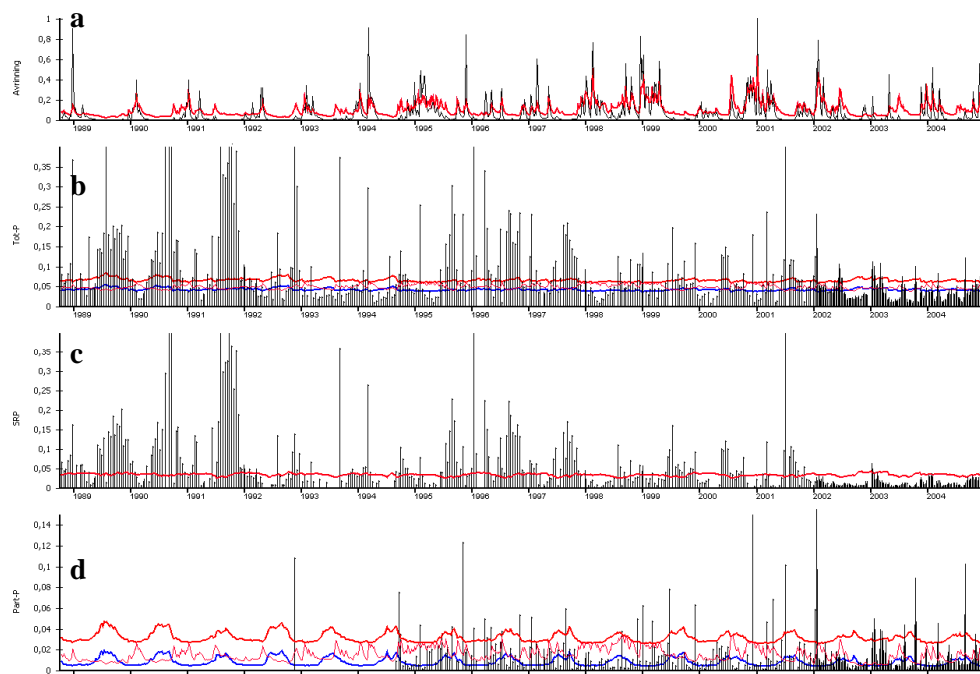
fosforhalten (med avskiljning genom sedimentation respektive markretention). Generellt gav simuleringarna med maximal avskiljning bättre överensstämmelse med de observerade halterna än simuleringarna utan avskiljning (Figur 8-Figur 22). I områden där huvuddelen av totalfosfortransporten består av löst reaktiv fosfor (SRP) får inte avskiljningen av partikulär fosfor så stor påverkan på simulerad totalfosforhalt. Exempel på sådana områden är Stratomtäckan (Figur 10) och Rytta-backen (Figur 11). I dessa områden krävs en förbättrad beräkning av löst reaktiv fosfor för att uppnå bättre överensstämmelse mellan observerade och simulerade halter totalfosfor.



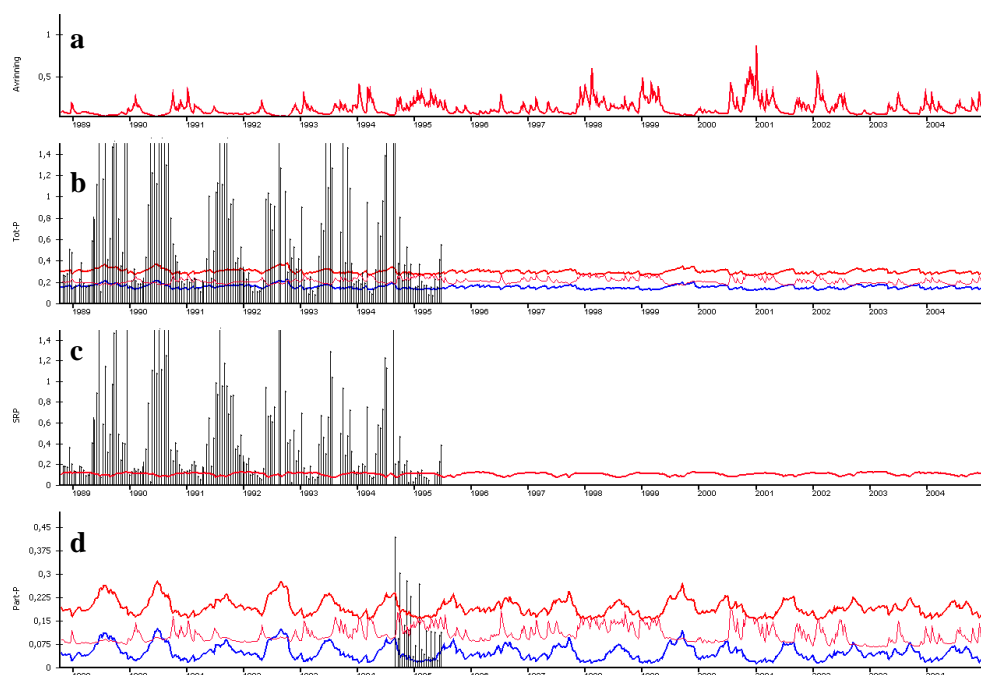
Figur 7a-d. Malstas vattenförling (a), tot-P koncentration (b), löst reaktiv fosfor (SRP) koncentration (c) och part-P koncentration (d). Observerade halter visas som svarta staplar, simulerade halter utan avskiljning visas med fet röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning genom sedimentation (förslag 3) visas med tunn röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning av jordbruksläckage och enskilda avlopp (förslag 5) visas med blå linje.



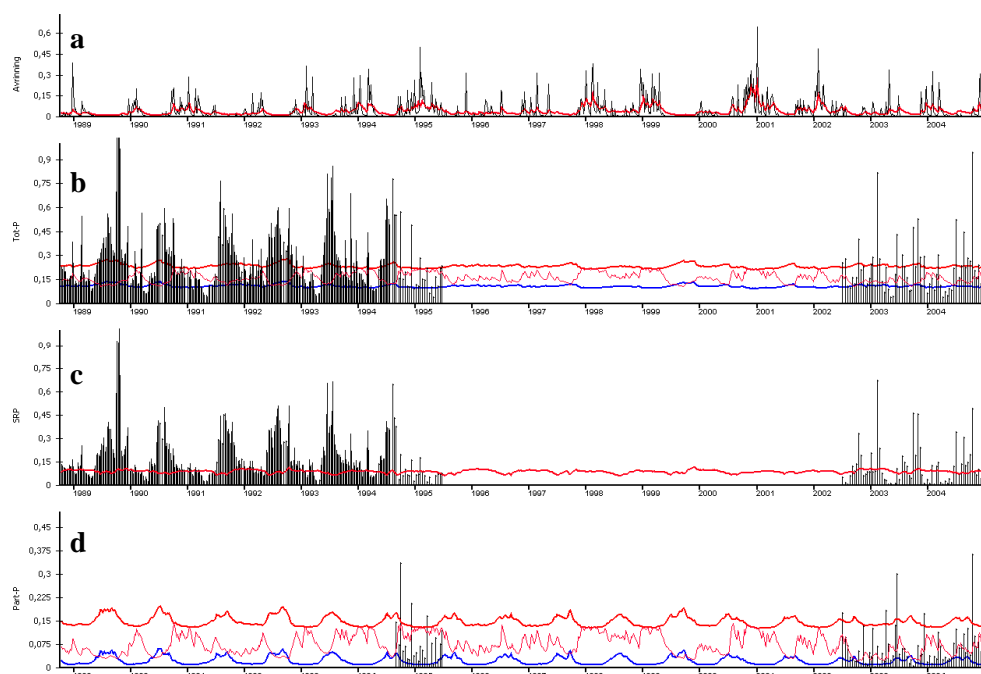
Figur 8a-d. Björklingeåns vattenföring (a), tot-P koncentration (b), löst reaktiv fosfor (SRP) koncentration (c) och part-P koncentration (d). Observerade halter visas som svarta staplar, simulerade halter utan avskiljning visas med fet röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning genom sedimentation (förslag 3) visas med tunn röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning av jordbruksläckage och enskilda avlopp (förslag 5) visas med blå linje.



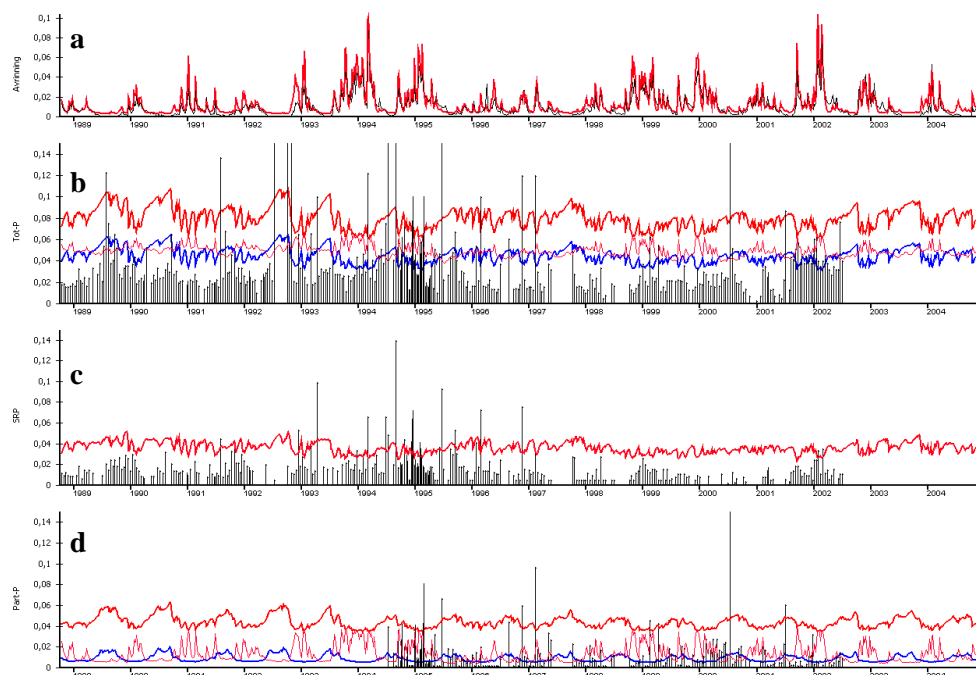
Figur 9a-d. Marstabäckens vattenföring (a), tot-P koncentration (b), löst reaktiv fosfor (SRP) koncentration (c) och part-P koncentration (d). Observerade halter visas som svarta staplar, simulerade halter utan avskiljning visas med fet röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning genom sedimentation (förslag 3) visas med tunn röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning av jordbruksläckage och enskilda avlopp (förslag 5) visas med blå linje.



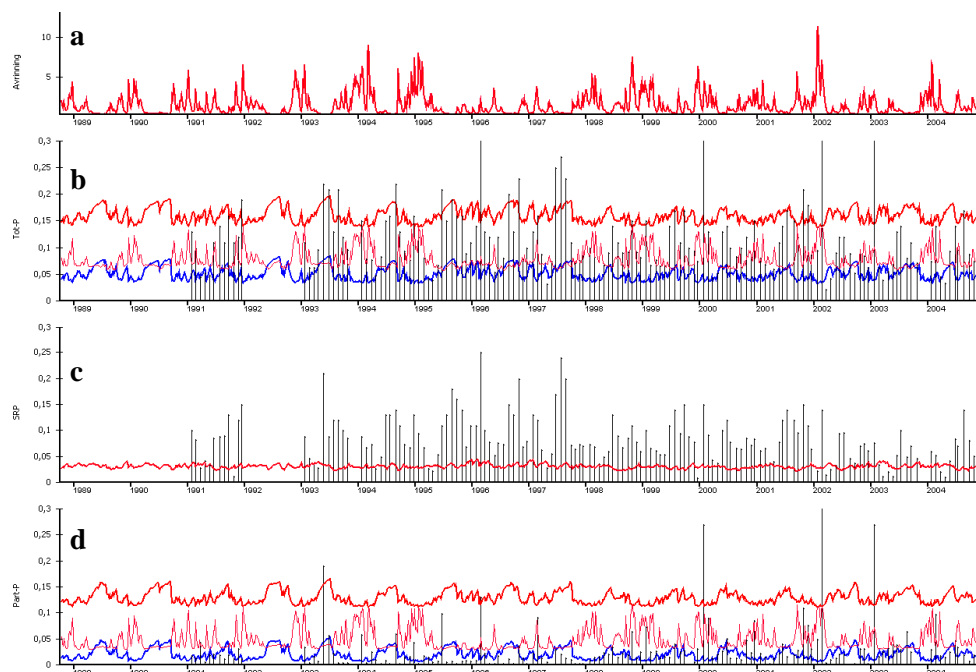
Figur 10a-d. Stratombäckens vattenföring (a), tot-P koncentration (b), löst reaktiv fosfor (SRP) koncentration (c) och part-P koncentration (d). Observerade halter visas som svarta staplar, simulerade halter utan avskiljning visas med fet röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning genom sedimentation (förslag 3) visas med tunn röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning av jordbruksläckage och enskilda avlopp (förslag 5) visas med blå linje. Observera att skalan är olika i de olika diagrammen och att extremvärden faller utanför skalan.



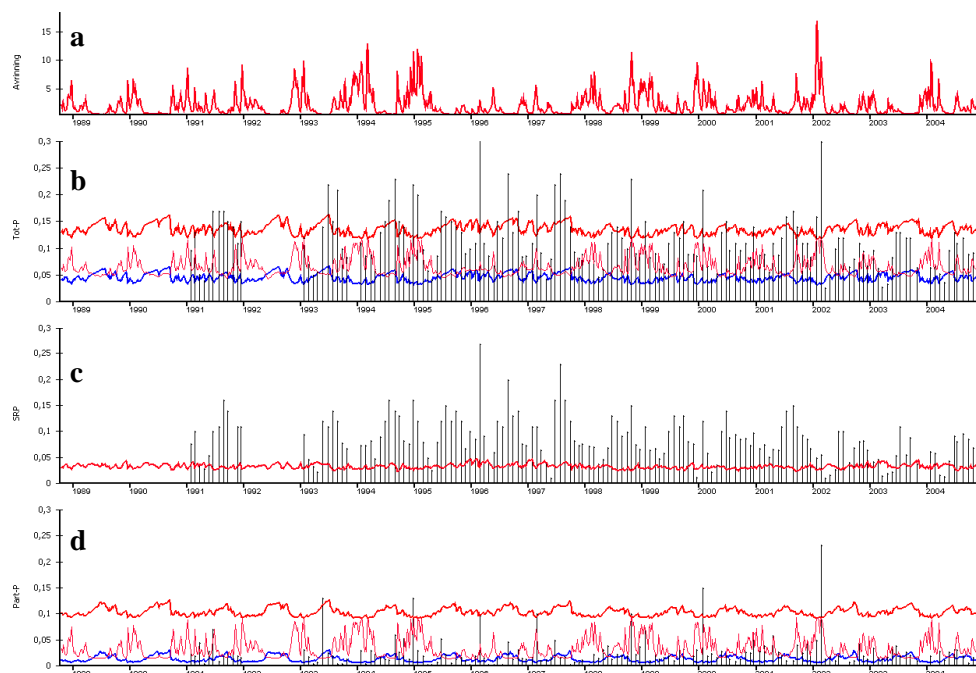
Figur 11a-d. Ryttarbackens vattenföring (a), tot-P koncentration (b), löst reaktiv fosfor (SRP) koncentration (c) och part-P koncentration (d). Observerade halter visas som svarta staplar, simulerade halter utan avskiljning visas med fet röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning genom sedimentation (förslag 3) visas med tunn röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning av jordbruksläckage och enskilda avlopp (förslag 5) visas med blå linje.



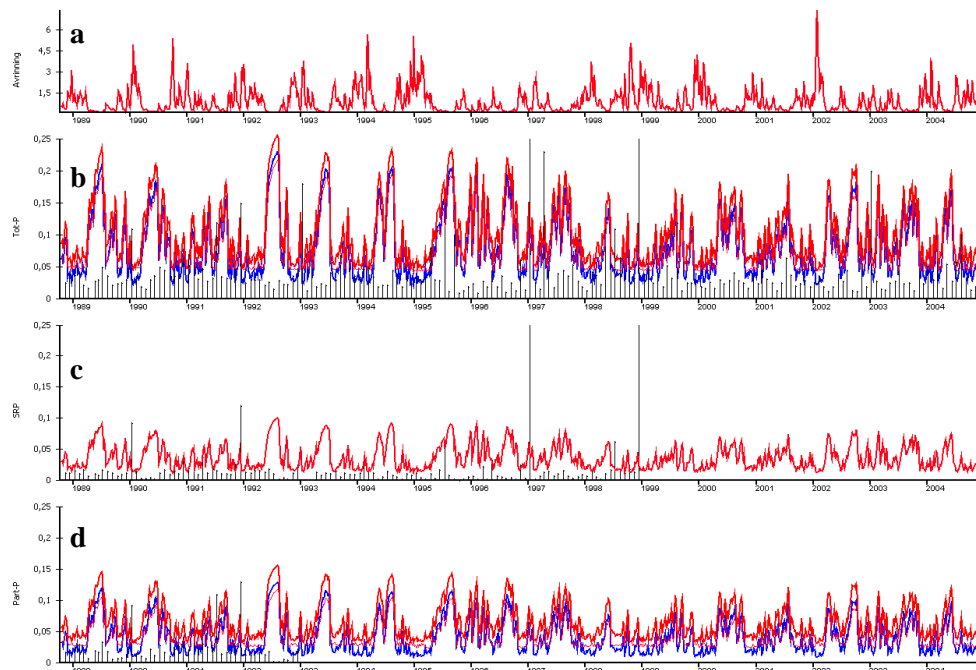
Figur 12a-d. Köpingsbäckens vattenföring (a), tot-P koncentration (b), löst reaktiv fosfor (SRP) koncentration (c) och part-P koncentration (d). Observerade halter visas som svarta staplar, simulerade halter utan avskiljning visas med fet röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning genom sedimentation (förslag 3) visas med tunn röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning av jordbruksläckage och enskilda avlopp (förslag 5) visas med blå linje. Vissa extremvärden faller utanför skalan.



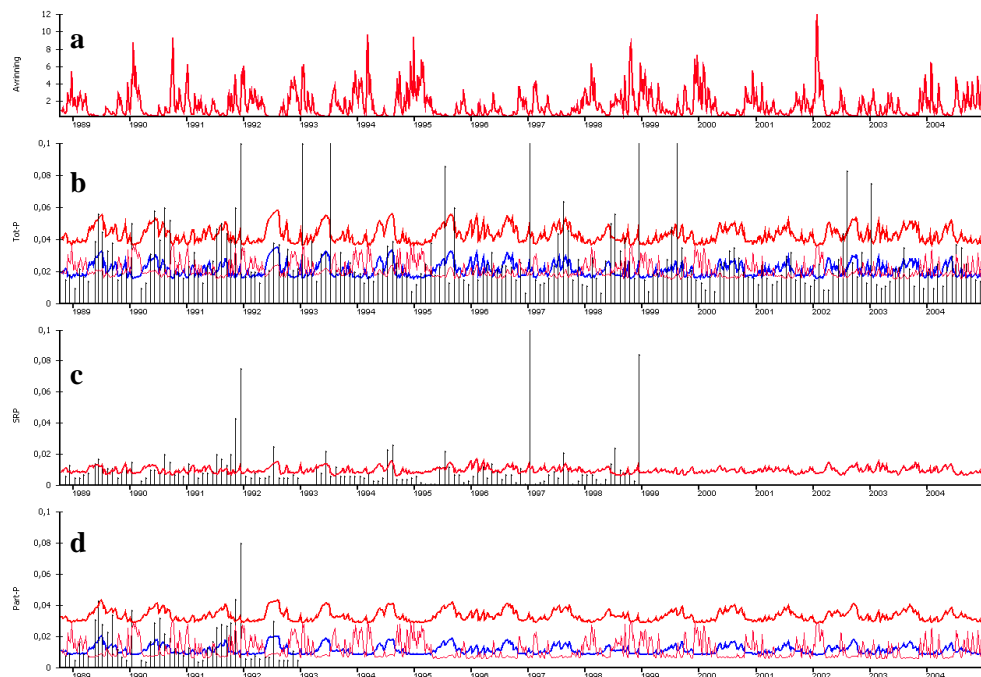
Figur 13a-d. Braåns vattenföring (a), tot-P koncentration (b), löst reaktiv fosfor (SRP) koncentration (c) och part-P koncentration (d). Observerade halter visas som svarta staplar, simulerade halter utan avskiljning visas med fet röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning genom sedimentation (förslag 3) visas med tunn röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning av jordbruksläckage och enskilda avlopp (förslag 5) visas med blå linje. Vissa extremvärden faller utanför skalan.



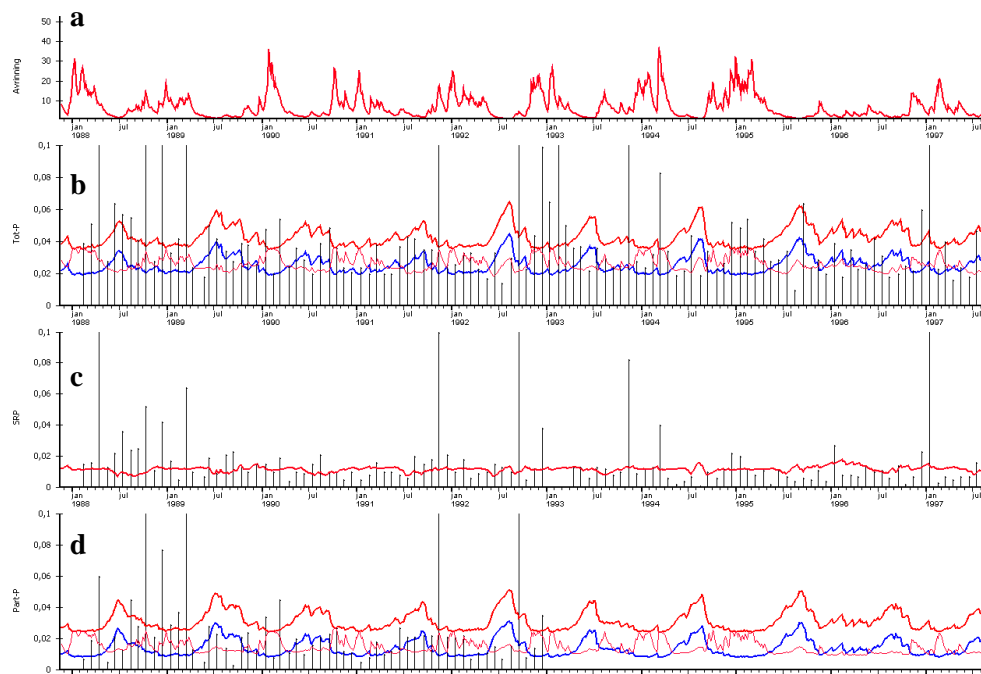
Figur 14a-d. Uppströms Braåns vattenföring (a), tot-P koncentration (b), löst reaktiv fosfor (SRP) koncentration (c) och part-P koncentration (d). Observerade halter visas som svarta staplar, simulerade halter utan avskiljning visas med fet röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning genom sedimentation (förslag 3) visas med tunn röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning av jordbruksläckage och enskilda avlopp (förslag 5) visas med blå linje. Vissa extremvärden faller utanför skalan.



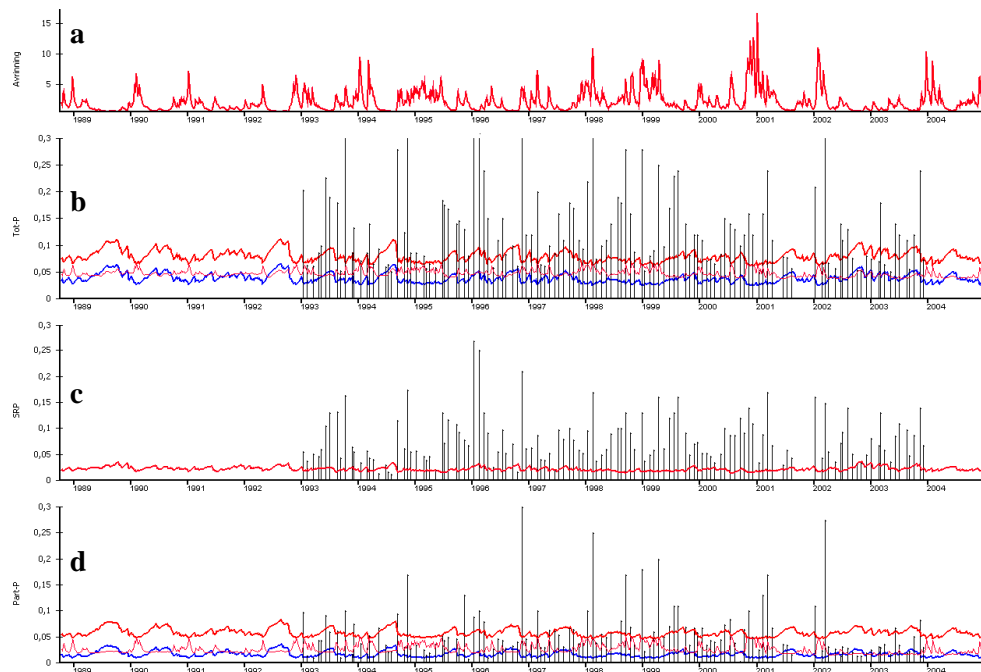
Figur 15a-d. Vessingeåns vattenföring (a), tot-P koncentration (b), löst reaktiv fosfor (SRP) koncentration (c) och part-P koncentration (d). Observerade halter visas som svarta staplar, simulerade halter utan avskiljning visas med fet röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning genom sedimentation (förslag 3) visas med tunn röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning av jordbruksläckage och enskilda avlopp (förslag 5) visas med blå linje. Vissa extremvärden faller utanför skalan.



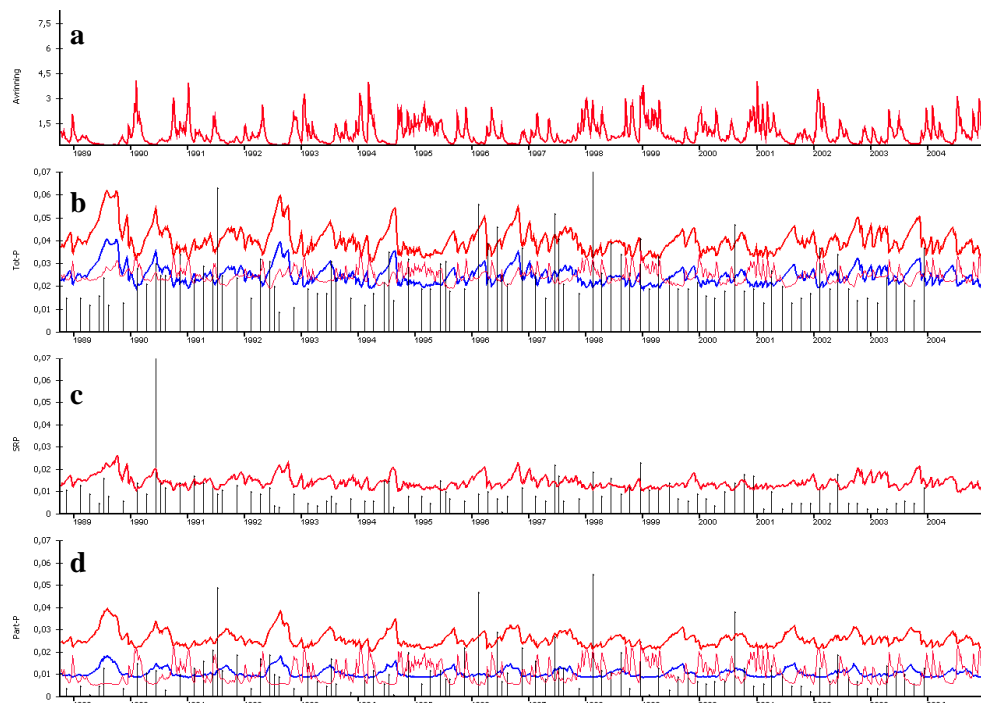
Figur 16a-d. Brostorpsåns vattenföring (a), tot-P koncentration (b), löst reaktiv fosfor (SRP) koncentration (c) och part-P koncentration (d). Observerade halter visas som svarta staplar, simulerade halter utan avskiljning visas med fet röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning genom sedimentation (förslag 3) visas med tunn röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning av jordbruksläckage och enskilda avlopp (förslag 5) visas med blå linje.



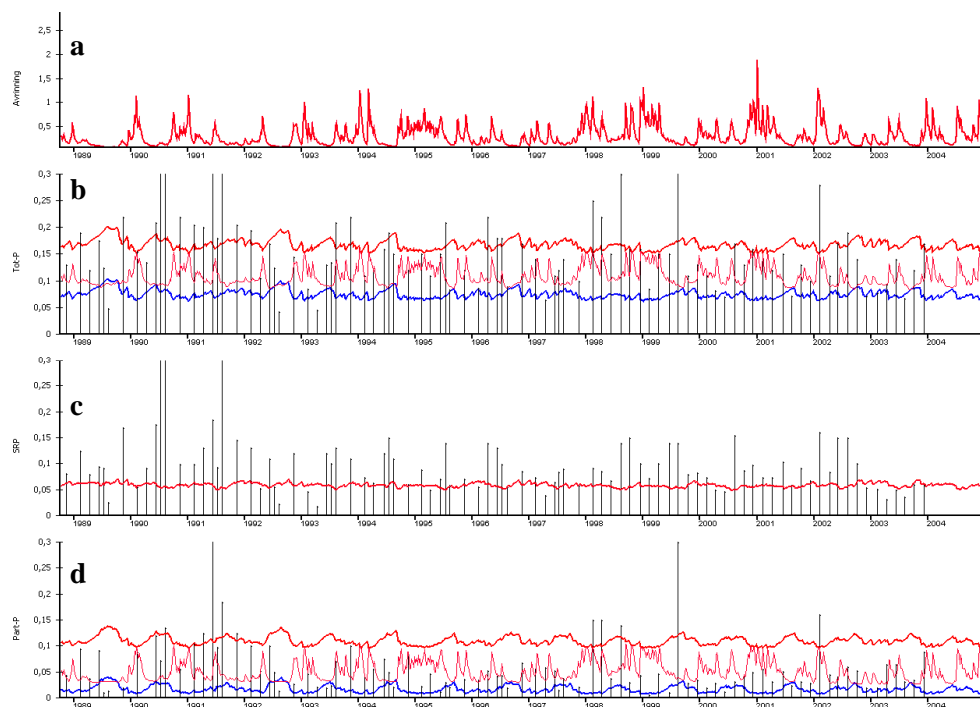
Figur 17a-d. Susenås vattenföring (a), tot-P koncentration (b), löst reaktiv fosfor (SRP) koncentration (c) och part-P koncentration (d). Observerade halter visas som svarta staplar, simulerade halter utan avskiljning visas med fet röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning genom sedimentation (förslag 3) visas med tunn röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning av jordbruksläckage och enskilda avlopp (förslag 5) visas med blå linje.



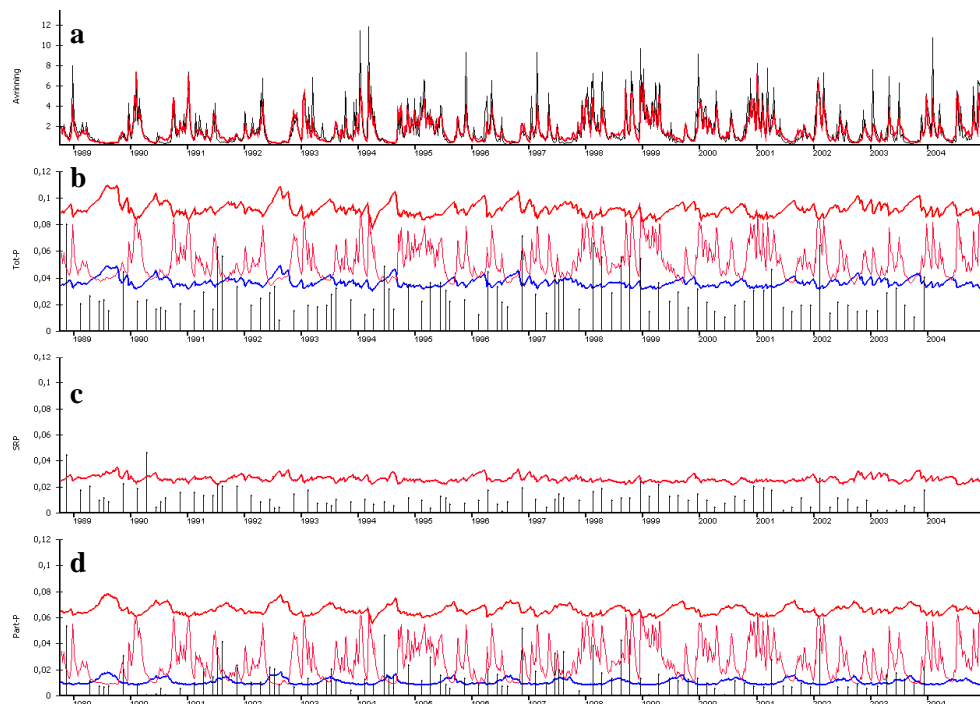
Figur 18a-d. Friaåns vattenföring (a), tot-P koncentration (b), löst reaktiv fosfor (SRP) koncentration (c) och part-P koncentration (d). Observerade halter visas som svarta staplar, simulerade halter utan avskiljning visas med fet röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning genom sedimentation (förslag 3) visas med tunn röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning av jordbruksläckage och enskilda avlopp (förslag 5) visas med blå linje.



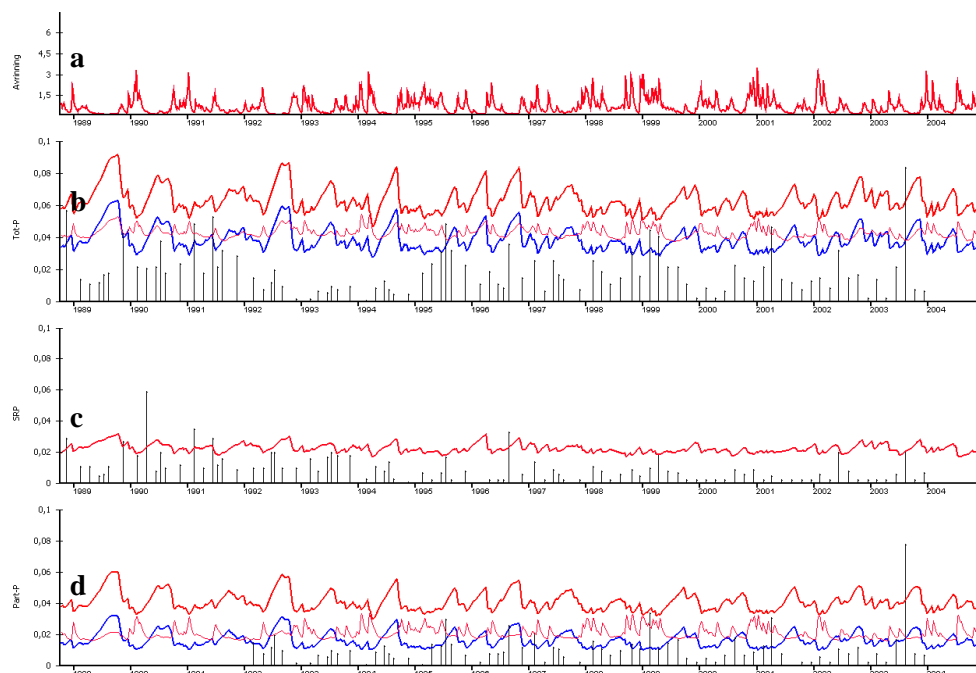
Figur 19a-d. Yans vattenföring (a), tot-P koncentration (b), löst reaktiv fosfor (SRP) koncentration (c) och part-P koncentration (d). Observerade halter visas som svarta staplar, simulerade halter utan avskiljning visas med fet röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning genom sedimentation (förslag 3) visas med tunn röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning av jordbruksläckage och enskilda avlopp (förslag 5) visas med blå linje.



Figur 20a-d. Djurans vattenföring (a), tot-P koncentration (b), löst reaktiv fosfor (SRP) koncentration (c) och part-P koncentration (d). Observerade halter visas som svarta staplar, simulerade halter utan avskiljning visas med fet röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning genom sedimentation (förslag 3) visas med tunn röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning av jordbruksläckage och enskilda avlopp (förslag 5) visas med blå linje.



Figur 21a-d. Ösans vattenföring (a), tot-P koncentration (b), löst reaktiv fosfor (SRP) koncentration (c) och part-P koncentration (d). Observerade halter visas som svarta staplar, simulerade halter utan avskiljning visas med fet röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning genom sedimentation (förslag 3) visas med tunn röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning av jordbruksläckage och enskilda avlopp (förslag 5) visas med blå linje.



Figur 22a-b. Pösans vattenföring (a), tot-P koncentration (b), löst reaktiv fosfor (SRP) koncentration (c) och part-P koncentration (d). Observerade halter visas som svarta staplar, simulerade halter utan avskiljning visas med fet röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning genom sedimentation (förslag 3) visas med tunn röd linje, och simulerade halter med maximal avskiljning av jordbruksläckage och enskilda avlopp (förslag 5) visas med blå linje.

Beräknad reduktion av simulerad medelhalt

Den beräknade medelhalten av partikulär fosfor i PLC5-beräkningen varierar mellan 0,026 mg/l i Yan till 0,194 mg/l i Stratomtäckan (Tabell 3). Detta reflekterar framför allt skillnader i andel jordbruksmark, jordart samt belastning från punktkällor (Tabell 1 och Tabell 2). Även effekten av avskiljning, oavsett metod, avgörs till största del av belastningens storlek (Tabell 3). Störst reduktion av medelhalt syns i Stratomtäckan, följt av Rytta-backen och Braån, medan reduktionen är relativt liten i Suseån och Yan (Tabell 3). Avskiljning genom retention av jordbruksläckage och enskilda avlopp ger generellt en större reduktion av medelhalten jämfört med avskiljning genom sedimentation, i vissa områden är reduktionen nästan dubbelt så stor (Tabell 3). Detta gäller framförallt områden med stor relativ belastning från jordbruksläckage och enskilda avlopp.

Tabell 3. Effekter på medelhalter (1985-2004) vid maximal avskiljning genom sedimentation respektive markretention. Beräknade medelhalter (mg/l) av partikulär fosfor utan avskiljning ("urspr"), med sedimentation ("sed"), och med markretention ("ret"), samt absoluta differenser i halt. Områdena har sorterats efter fallande sammanlagd andel av bruttobelastning från jordbruksläckage och enskilda avlopp (se Tabell 2).

Namn	Part-P (urspr)	Part-P (sed)	Part-P (ret)	Differens (sed-urspr)	Differens (ret-urspr)
Ryttarbacken	0.15	0.09	0.02	-0.06	-0.13
uppstr Braån	0.10	0.04	0.01	-0.06	-0.09
Braån	0.13	0.05	0.02	-0.08	-0.11
Malsta	0.11	0.06	0.02	-0.05	-0.09
Djuran	0.11	0.05	0.02	-0.06	-0.09
Björklingeån	0.09	0.05	0.02	-0.05	-0.07
Köpingebäcken	0.04	0.02	0.01	-0.03	-0.03
Ösan	0.07	0.03	0.01	-0.04	-0.06
Marstabäcken	0.03	0.02	0.01	-0.01	-0.02
Stratomtabäcken	0.19	0.12	0.05	-0.08	-0.14
Friaån	0.06	0.03	0.02	-0.03	-0.04
Brostorpsån	0.03	0.01	0.01	-0.02	-0.02
Susena	0.03	0.02	0.01	-0.01	-0.02
Pösan	0.04	0.02	0.02	-0.02	-0.03
Yan	0.03	0.01	0.01	-0.02	-0.02
Vessingeån	0.07	0.04	0.04	-0.02	-0.03

Den maximala avskiljning som simulerats här ger en indikation på hur mycket halterna av partikulär fosfor kan sänkas genom metoderna som testats i projektet. I majoriteten av områden tycks ändå denna maximala avskiljning ge en relativt god överensstämmelse mellan simulerade och observerade halter (se t.ex. Björklingeån i Figur 8).

Framtidsutsikter

Resultaten i denna studie visar att det går att förbättra simuleringen av partikulär fosfor avsevärt genom att införa en funktion för permanent avskiljning i dike och små vattendrag alternativt med markretention. Enstaka observerade koncentrationstoppar är svåra att reproducera med modellen, men medelnivåerna stämmer relativt väl när man simulerar maximal avskiljning. Det är osannolikt att all sedimenterad fosfor binds permanent i diken/små vattendrag utan att sköljas ut under höglöden, och detta kan vara en indikation på att antingen läckagekoefficienterna för partikulär fosfor är överskattade och/eller att sedimentationen underskattas av den hydrologiska modellen. Läckagekoefficienterna undersöks för närvarande inom ett annat parallellt SMED-projekt som leds av SLU, och det är för tidigt att uttala sig om hur stora förändringarna kan komma att bli i dessa ännu.

I nuläget styrs sedimentation/resuspension av en enda parameter i modellen, vilket ger begränsade möjligheter för justering av sedimentationsdynamiken. En möjlighet som bör utredas i framtiden är att införa en valfri inställning av flödesintervallet mellan full sedimentation/resuspension, och undersöka om detta intervall går att koppla till de dominanta jordarterna i områdena. Grundhypotesen är att

sedimentens partikelstorlek återspeglar partikelstorleken hos jordarten i omgivningen. Ett område med sandig jordart kan tänkas ha en annan sedimentationsdynamik jämfört med ett område med lerig jordart. Vattenhastigheten för full sedimentation bör vara högre för sandpartiklar jämfört med lerpartiklar, och detta gäller även vattenhastigheten för full resuspension.

Genom att exempelvis införa två nya parametrar i modellen, Q_{min} och Q_{max} , skulle man fritt kunna skala funktionen för sedimentation/resuspension, och på så sätt få större möjlighet att påverka reduceringen av partikulär fosfor. Problemet är att antalet mätserier är för lågt för att få fram tillräckligt med underlag för en utvärdering av metodiken och generalisering till omätta områden.

Ett alternativ till avskiljning genom sedimentation är den funktion för retention av belastningen från jordbruksläckage och enskilda avlopp som testats. Fördelen med denna funktion är att den är oberoende av sedimentationen/resuspensionen och verkar direkt på koncentrationen i grundvattnet. Fysikaliskt kan detta motsvara en avskiljningsprocess i utströmningsområden som ligger i anslutning till mindre vattendrag/diken. En annan fördel hos denna funktion är att den kan ge en större potentiell reduktion av fosforhalten än funktionen som är knuten till sedimentationen. I en framtida studie bör man undersöka om parameter $p5$ går att kalibrera regionalt, d.v.s. knyta den till andra egenskaper i avrinningsområdena. Denna studie är lämplig att utföra när projektet 'Kalibrering och validering av jordbruksläckagekoefficienter och beräkning av retention i små sjölösa områden' har slutförts.

Resultaten från denna studie visar att framtida belastningsberäkningar med HBV-NP kan förbättras beträffande transporten av partikulär fosfor med hjälp av de funktioner som testats i detta projekt. Den funktion som vi anser är lämpligast att använda är förslag 5 som baseras på belastningen från jordbruksmark och enskilda avlopp.

Referenser

Brandt, M., Ejhed, H., Rapp, L., 2008. Näringsbelastningen på Östersjön och Västerhavet 2006. Sveriges underlag till HELCOMs femte Pollution Load Compilation. *Naturvårdsverket Rapport 5815*. 95 s.

Brandt, M. och Hjerdt, N. Avtal 3080801. Fosfortransport i Göta älv. *SMED*.

Johnsson, H., Larsson, M., Brandt, M., Pers, L., och Rosberg, J. 2006. Framtagning av nytt fosforberäkningssätt för beräkningssystem för diffus belastning, retention och tillförsel till havet för PLC5 rapporteringen 2007. *SMED rapport 16*.

Johnsson, H., Larsson, M., Lindsjö, A., Mårtensson, K., Persson, K., Torstensson, G., 2008. Läckage av näringsämnen från svensk åkermark. Beräkningar av normalläckage av kväve och fosfor för 1995 och 2005. *Naturvårdsverket Rapport 5823*. 152 s.

Jöborn, A., Danielsson, I., Oscarsson, H., 2006. På tal om vatten. VASTRA Rapport 6.

Rosberg, J., 2003. Modeling phosphorous transport and retention in river networks. Examensarbete 20p., Institutionen för Geovetenskap, Uppsala Universitet. ISSN1650-6553. Geotryckeriet, Uppsala 2003.