

Förbättrad modellering av fosforhalter i samband med vårflöden och höga flöden

Niclas Hjerdt, SMHI
Johan Strömqvist, SMHI
Maja Brandt, SMHI

2009-12-14

Avtal 308 0801

SMED på uppdrag av Naturvårdsverket

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 hösten 2009. Maja Brandt utformade projektidén, skrev projektspecifikationen samt var ett stort stöd under rapportskrivandet. Johan Strömqvist vid forskningsavdelningen genomförde modellberäkningar med HYPE-modellen och testade alternativa lösningar. Niclas Hjerdt var projektledare, genomförde modellberäkningar med HBV-NP, och är huvudansvarig för rapporten.

Innehåll

FÖRORD	4
INNEHÅLL	5
SAMMANFATTNING	6
BAKGRUND	8
Syfte	9
METODER	10
Försöksområden	10
Analys av observationer	12
Hypotes 1: Sedimentation och resuspension i vattendrag	19
Hypotes 2: Erosion i vattendrag	19
Hypotes 3: Ökat markläckage	20
RESULTAT	22
Vårfloden 2009	22
DISKUSSION OCH SLUTSATSER	28
Varifrån kommer fosfor?	28
Hur kan fosfordynamiken bäst simuleras?	29
Rekommendationer inför framtida beräkningar	29
REFERENSER	30

Sammanfattning

Under arbetet med att beräkna den vattenburna belastningen av fosfor 2006 till Sveriges omgivande havsbassänger inom SMED har mätdata från ett antal flodmynningar i norra Sverige visat på kraftigt förhöjda fosforhalter under vårfloden (Brandt m.fl., 2008) och att merparten av denna fosfor är partikulärt bunden. Denna dynamik har inte varit möjlig att simulera i HBV-NP modellen med nuvarande parameteruppsättning och därför har fosforbelastningen från land till hav sannolikt underskattats. Syftet med denna studie är att först göra en fördjupad analys av observationerna och sedan använda modellsimuleringar för att testa olika processer som kan ligga bakom de förhöjda fosforhalterna under vårfloden. Målet är att ge rekommendationer till en förbättring av de nationella beräkningarna av fosforbelastningen.

Studien omfattar 12 mätstationer i norra Sverige med längre mätserier av totalfosfor samt olika fraktioner av fosfor. Avrinningsområdena till dessa stationer varierar i storlek mellan 567 till 40 157 km² och domineras av skogsmark, myrmark och kalvfjäll. Jordbruksandelen är mycket liten och varierar mellan 0-1 % av områdenas yta. Modellberäkningar har utförts för att testa om fosfordynamiken kan förklaras med processer på land och/eller processer i vattendrag (sedimenttransport/erosion). Den hydrologiska modellen med rutin för fosforberäkning, HBV-NP, har använts med aktiverad befintlig funktionalitet för simulering av sedimentdynamik i vattendrag. HBV-NP har en förenklad beskrivning av markprocesser och kan därför inte ge någon detaljerad information om underliggande faktorer. Därför har även en ny modell för vattenkvalitetsberäkningar, HYPE, använts för att i detalj kunna jämföra processer på land med processer i vattendrag.

Resultaten visar att det framför allt är de nedre delarna av oreglerade vattendrag som uppvisar förhöjda fosforhalter under vårfloden. Denna dynamik kan redan nu simuleras i HBV-NP genom att aktivera en rutin för sedimentation/resuspension tillsammans med en rutin för nettoerosion, vilket innebär att vattendragens strandlinjer kontinuerligt eroderar 2-15 cm/år. Denna erosionstakt får dock anses fysikaliskt osannolik, även om stor sedimenttransport kan ske i samband med svår islossning och höga flöden. Ett tredje alternativ är att kraftigt öka läckagekoefficienterna för skog, myr och övrig öppen mark, men det påverkar då samtliga områden i hela norra skogsregionen. Simuleringar med HYPE visar att en ökad tillförsel av fosfor från marken ensamt kan ge ett tillräckligt stort bidrag av fosfor under vårfloden utan att använda kontinuerlig vattendragserosion.

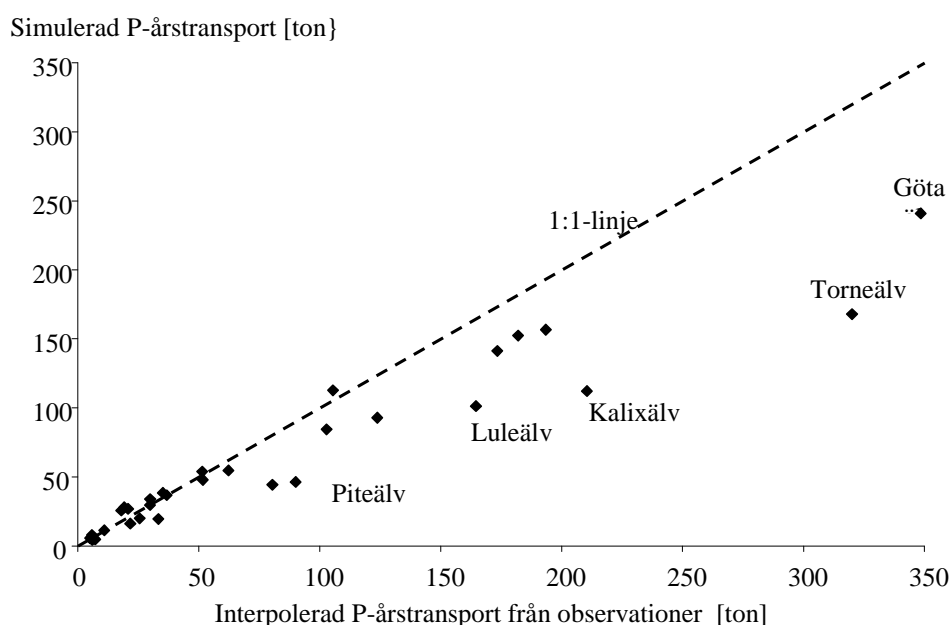
Vår slutsats är att de simulerade halterna av totalfosfor förbättras åtskilligt när rutiner för sedimenttransport och erosion aktiveras i HBV-NP. Ett liknande resultat erhöles i en studie av halterna och erhålls i HYPE-modellen genom att förstärka belastningen från marken när grundvattenytan stiger. I framtiden bör modeller fortsatt kalibreras mot koncentrationen men samtidigt och direkt kontrolleras mot transporten för att undvika att underskatta betydelsen av enstaka höga koncentrationvärden i mätserier. Eftersom de förhöjda fosforhalterna endast uppträder i ett fåtal större vattendrag nära mynningen i norra Norrland rekommenderar vi att des-

sa stationer kalibreras individuellt med erosionsrutinerna aktiverade. Mynningsstationerna har hittills använts som valideringspunkter och har inte kalibrerats. För övriga områden används den regionala kalibreringen för att undvika att belastningen från kustnära och mindre vattendrag överskattas. Vi rekommenderar slutligen att provtagningen i de oreglerade älvarna fortsätter men att resurserna koncentreras till perioden kring vårfloden eftersom den utgör en relativt stor andel av Sveriges totala belastning av fosfor på Östersjön.

Bakgrund

I samband med utvärdering av PLC5-beräkningarna (Brandt m.fl., 2008) med hjälp av HBV-NP-simuleringar och flodmynningsberäkningar baserade på mätdata noterades att flerårsmedelvärdena för fosfortransportsimuleringarna låg lägre än flodmynningsberäkningarna dels i Göta älv och dels i ett antal vattendrag i Norrland (Figur 1). En analys av koncentration och transportberäkning i Göta älvs mynning har redan utförts av Brandt och Hjerdt (2008). I den här rapporten tittar vi vidare på förhållandena i de nordligt belägna vattendragen. Flodmynningsstationer är i regel ej använda vid kalibrering av retention utan är valideringspunkter.

En slutsats i PLC5-rapporten var att i de flesta oreglerade vattendragen i norra Norrland (Torneälven, Sangisälven, Kalixälven, Töreälven, Råneälven, Alterälven, Piteälven, Rickleån, Umeälven och Öreälven) uppträder höga fosforhalter främst vid vårflodens start, som med befintlig kalibrering inte kan simuleras. Antalet mätstationer i flertalet av dessa älvar är få, vilket gör det relativt svårt att fastställa den geografiska utbredningen av fosforspikarna. Eftersom spikarna uppträder vid höga flöden och framför allt i samband med vårflodens start finns alternativa förklaringar till detta. En hypotes är att grundvattennivån i samband med snösmältningen stiger snabbt och högt, vilket ger en snabb utlakning av fosfor i markprofilen. En annan hypotes är att höga flöden tillsammans med islossning medför erosion i vattendragens kanter vilket skulle kunna ge upphov till förhöjda fosforhalter under vårfloden.



Figur 1. Förhållandet mellan simulerad och flodmynningsberäknad medelårstransport av totalfosfor för olika huvudavrinningsområden i PLC5 för perioden 1985-2004 (från Brandt m.fl, 2008).

Syfte

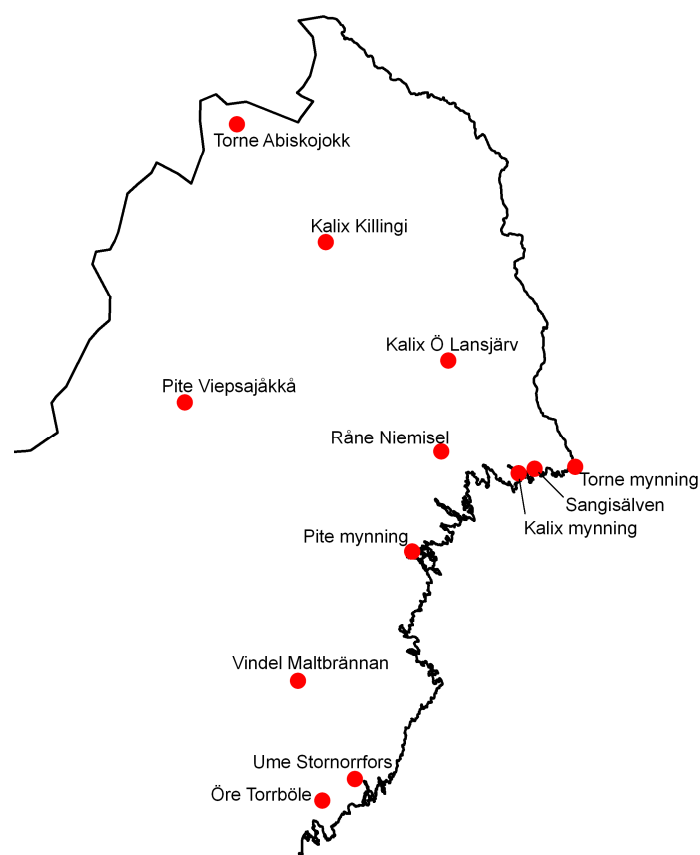
Syftet är att undersöka fosfordynamiken i norra Sverige under vårfloden och med hjälp av olika modeller (HBV-NP och HYPE) testa alternativa processer för tillförsel av fosfor i samband med snösmältning och höga flöden i norrlandsälvar. Målet är att ge rekommendationer till en förbättrad beräkning av fosforbelastningen i framtida beräkningsuppdrag.

Metoder

I första steget analyserades tidsserier av observerade fosforkoncentrationer för att undersöka de bakomliggande processerna för en förhöjd fosforkoncentration under vårfloden. I nästa steg anpassades två olika modeller för beräkning av fosfortransport, HBV-NP och HYPE, till de observerade fosforhalterna. HYPE, HYdrological Predictions for the Environment, är en distribuerad hydrologisk modell med inbyggda rutiner för simulering av närsaltsläckage och transport. HYPE har utvecklats inom SMHI som en integrerad vattenkvalitetsmodell med en rumslig upplösning som motsvarar vattenförekomster. Till skillnad från HYPE så är HBV-NP en enklare modell som beräknar vattenföring och vattenkvalitet på en grövre rumslig skala. En annan viktig skillnad mellan modellerna är att HYPE har en komplett beskrivning av vatten- och ämnestransporten i marken medan HBV-NP använder rotzonskoncentrationer som beräknats med andra modeller. Detta gör sammantaget HYPE till en mer flexibel modell än HBV-NP eftersom det finns möjlighet att påverka alla delar av ämnestransporten. Slutligen analyserades modellresultaten för att försöka identifiera de processer som med högsta sannolikhet orsakar den observerade tillförseln av fosfor under vårfloden.

Försöksområden

De tolv försöksstationer och områden som valdes ut för denna studie ligger i norra Norrland och användes även för PLC5-beräkningarna (Figur 2). Områdena varierar i storlek från 567 till 40 157 km² och domineras av skogsmark, förutom i de västligaste områdena där det även finns stora inslag av fjäll och myrmark (Tabell 1). Andelen jordbruksmark i försöksområdena är mycket liten, mellan 0-1,2 % och koncentrerad till kustnära dalgångar (Tabell 1).



Figur 2. Försöksstationer som använts inom denna studie.

Tabell 1. Area samt andel sjö, skog respektive jordbruksmark i försöksstationernas avrinningsområden.

Avrinningsområde	Station	Area (km ²)	Andel sjö (%)	Andel skog (%)	Andel jordbruksmark (%)
Torneälven	Abiskojokk	567	4	13	0
Torneälven	Mynning	40 157*	5	53	0,1
Sangisälven	Mynning	1 230	6	67	1,2
Kalixälven	Killingi	2 345	5	24	0
Kalixälven	Övre Lansjärv	1 341	2	70	0,1
Kalixälven	Mynning	18 130*	4	55	0,2
Råneälven	Niemisel	3 779	4	69	0,1
Piteälven	Viepsajäkkå	2 420	13	26	0
Piteälven	Mynning	11 285	8	58	0,4
Vindelälven	Maltbrännan	10 773	7	59	0,1
Umeälven	Stornorrfors	26 567	8	61	0,6
Öreälven	Torrböle	2 860	3	81	1,2

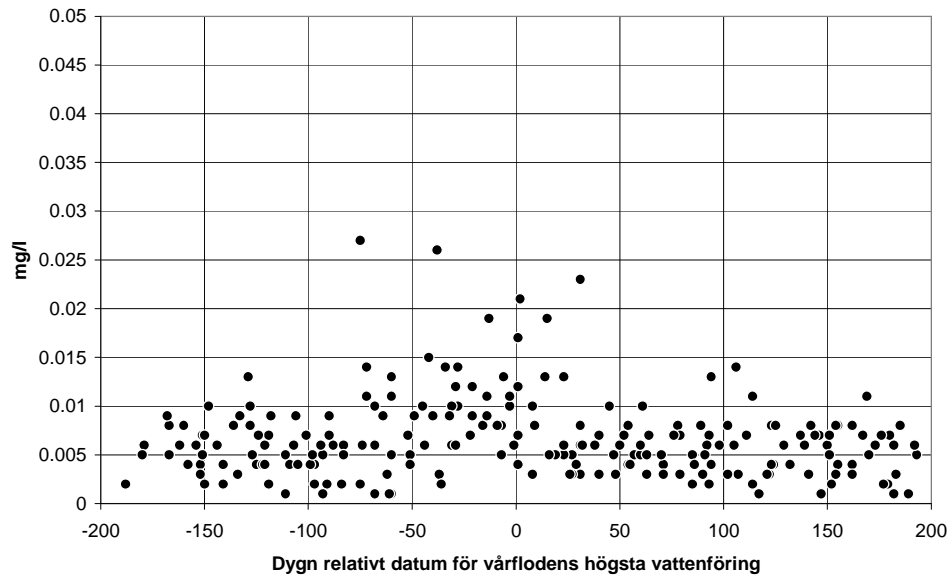
*En betydande andel vatten från övre Torneälven leds över till Kalixälven via en naturlig bifurkation (Tärendöälven), vilket medför att Torneälven delar en del av sitt avrinningsområde med Kalixälven. Arealerna i tabellen bortser från denna överledning.

Analys av observationer

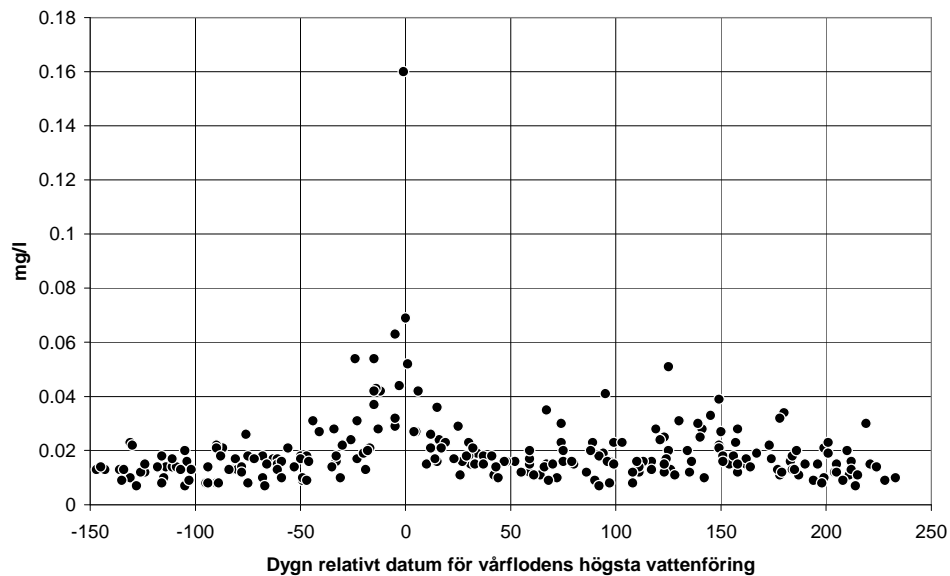
Alla observationer av totalfosfor (tot-P), löst reaktiv fosfor (SRP) samt partikulär fosfor (PP) analyserades i varje försöksområde för att undersöka hur koncentrationerna varierade med tiden. Provtagningsdatum relaterades till datumet för högsta vattenföring under innevarande kalenderår, där dygnsvärdet noll innebär att provtagning sammanfaller med datum för högsta vattenföring. Ett negativt dygnsvärde innebär att observationen gjordes före högsta vattenföring, och ett positivt värde innebär att observationen gjordes efter högsta vattenföring. Med denna metod kunde observationer från en längre period normaliseras och plottas som samma år.

SLU har i ett annat projekt utfört utökade mätningar (varje dag) i samband med vårfloden 2008 och 2009 i Kalixälven och i Umeälven.

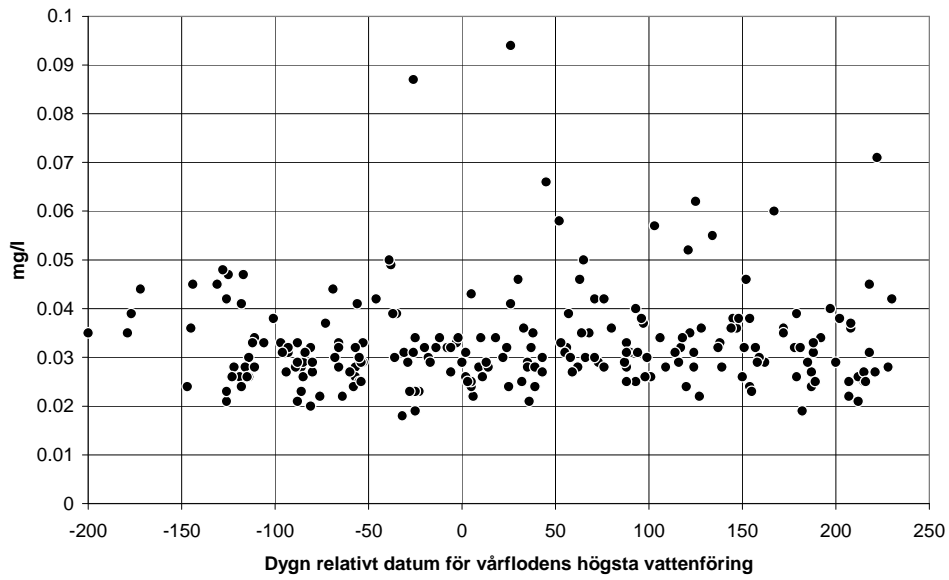
Analysen av tidsserierna visade att koncentrationen av tot-P i vissa områden var beroende av vattenföringen, medan det var svårare att urskilja ett samband i andra områden. I Torneälvens mynning syns koncentrationen tot-P börja stiga ca 20 dygn innan vårflodens topp, för att kulminera strax innan eller under vårflodens topp (Figur 4). Uppe i fjällvärlden syns endast en ytterst svag ökning av koncentrationen tot-P ca en månad innan vårflodstoppen (Figur 3). Samma tendens syns i Kalixälven, med svag eller ingen ökning av tot-P under vårfloden i fjällvärlden och i inlandet (Figur 6 och Figur 7), men en kraftig ökning av tot-P under vårfloden i mynningen (Figur 8). Även här tycks koncentrationen tot-P kulminera något/några dygn innan vårflodens topp och sjunker därefter snabbt igen. Andra områden med tydlig tendens till ökad fosforhalt under vårfloden inkluderar Stornorrfors i Umeälven (Figur 13 och Figur 14) och Torrböle i Öreälven (Figur 15), men i övriga områden syns ingen tydlig trend. Maltbrännan i Vindelälven ligger i inlandet knappt 15 mil uppströms Stornorrfors men visar inga tecken på ökad tot-P koncentration under vårfloden (Figur 12). De mindre skogsälvarna, Sangisälven och Råneälven, tycks också ha en relativt konstant koncentration tot-P under året (Figur 5 och Figur 9). Analyserna visade även att den övervägande delen av totalfosfor i de områden där halten ökade under vårfloden bestod av partikulär fosfor.



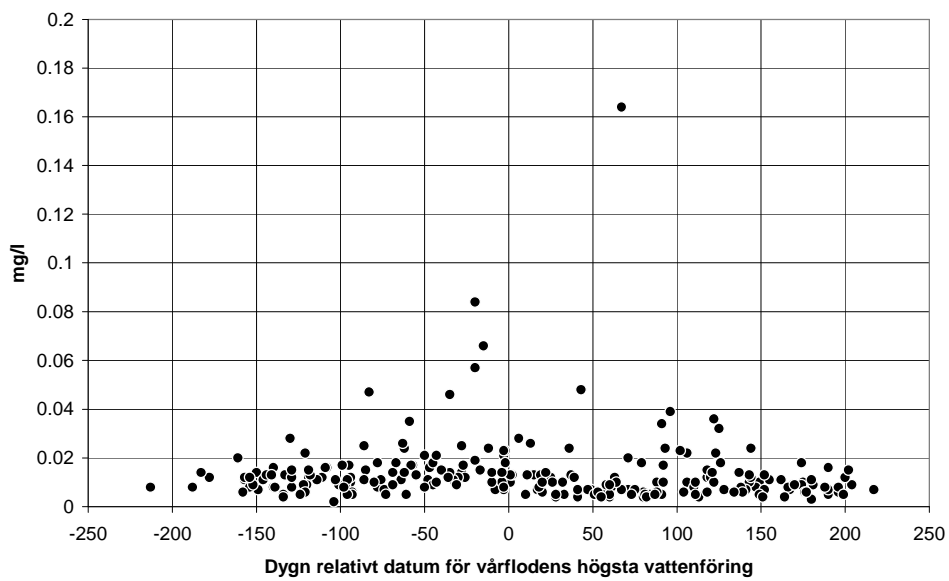
Figur 3. Observerad koncentration av totalfosfor i Abiskojokk, Torneälven relativt datum för vårflodens högsta vattenföring.



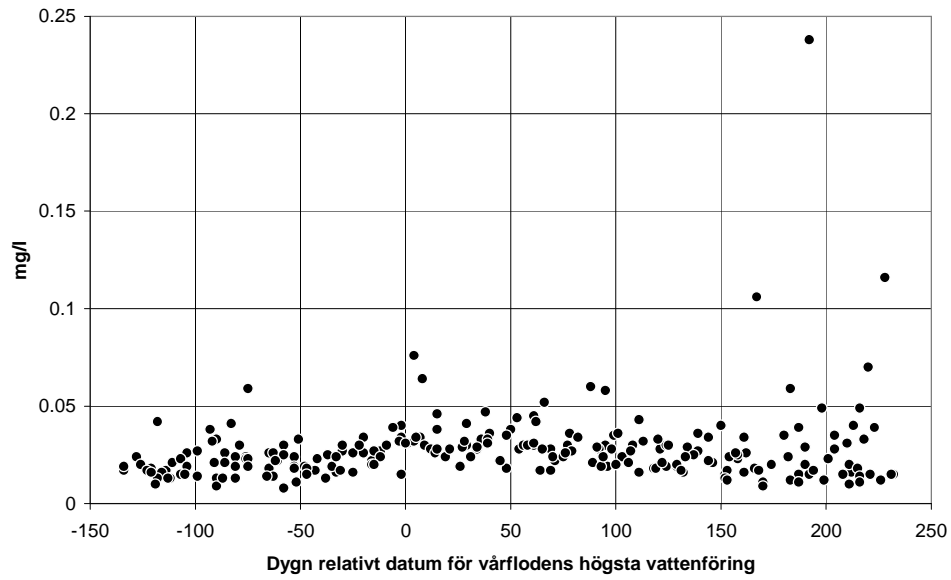
Figur 4. Observerad koncentration av totalfosfor i mynningen av Torneälven relativt datum för vårflodens högsta vattenföring.



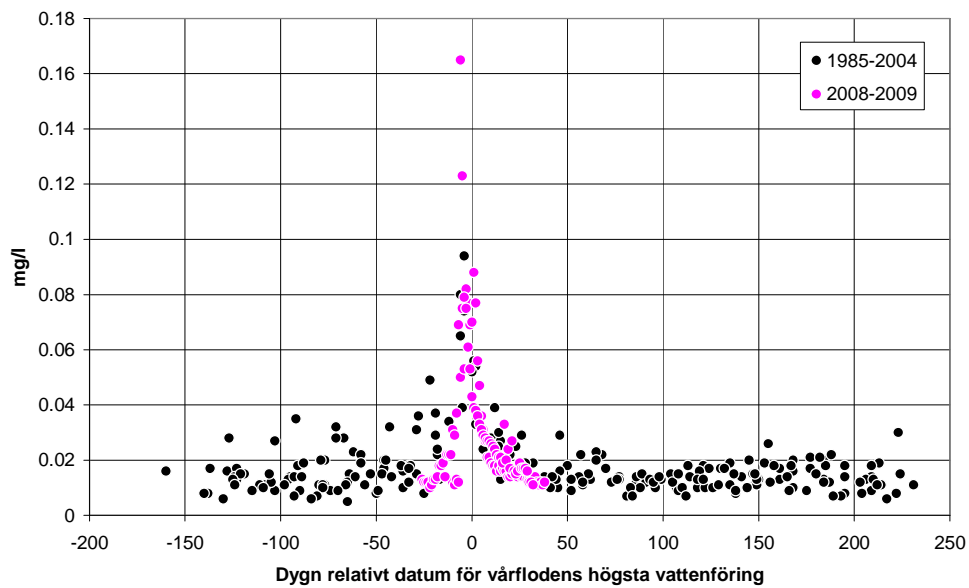
Figur 5. Observerad koncentration av totalfosfor i mynningen av Sangisälven relativt datum för vårflodens högsta vattenföring.



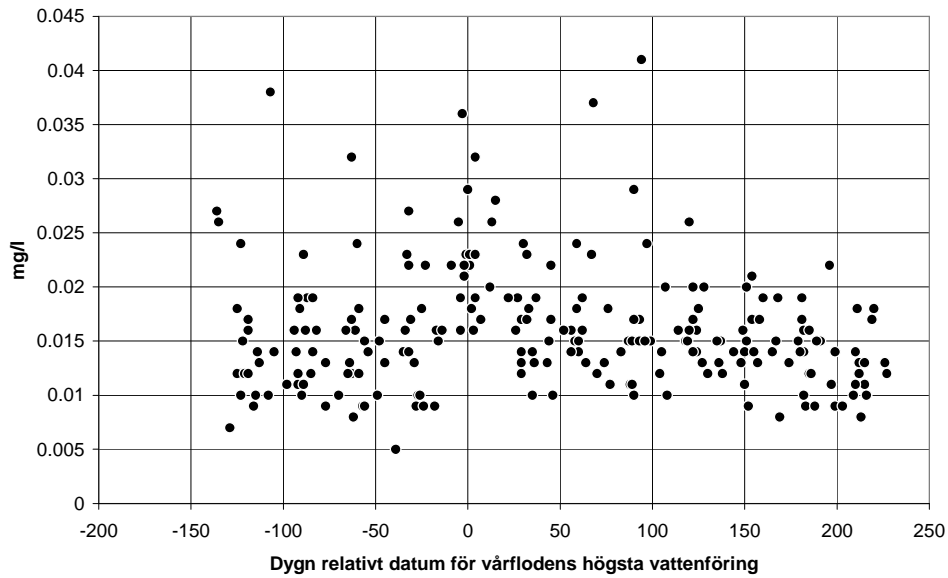
Figur 6. Observerad koncentration av totalfosfor i Killingi, Kalixälven relativt datum för vårflodens högsta vattenföring.



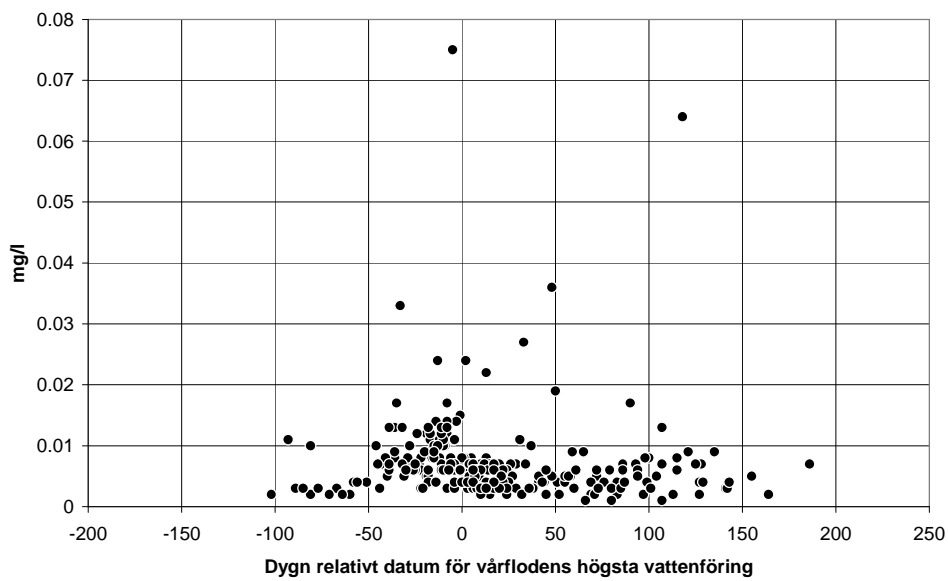
Figur 7. Observerad koncentration av totalfosfor i Övre Lansjärv, Kalixälven relativt datum för vårfloedens högsta vattenföring.



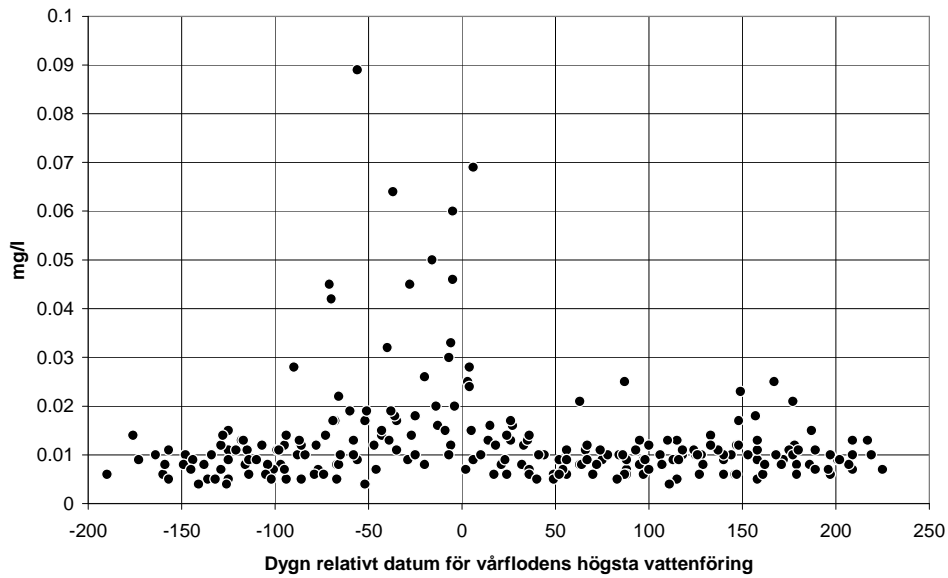
Figur 8. Observerad koncentration av totalfosfor i mynningen av Kalixälven relativt datum för vårfloedens högsta vattenföring.



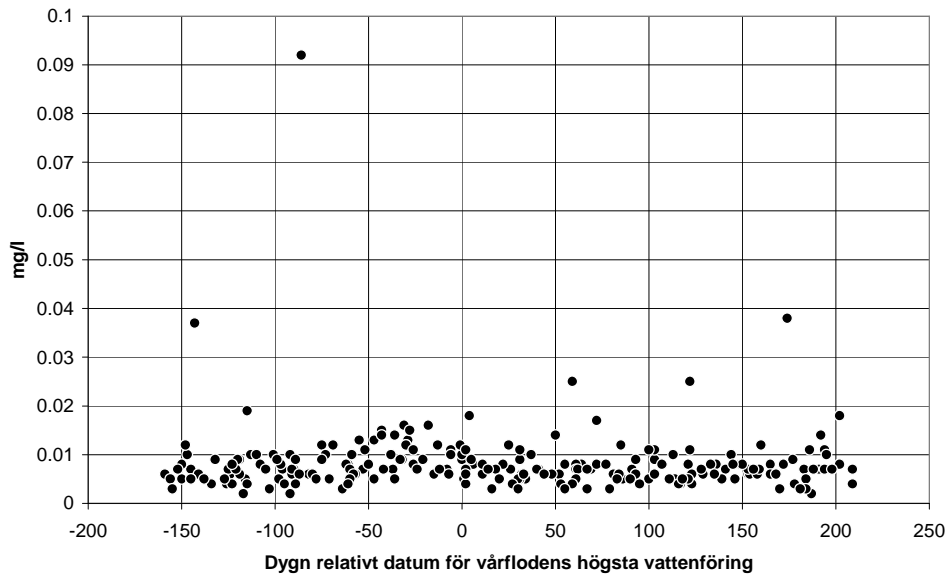
Figur 9. Observerad koncentration av totalfosfor i Niemisel, Råneälven relativt datum för vårfloedens högsta vattenföring.



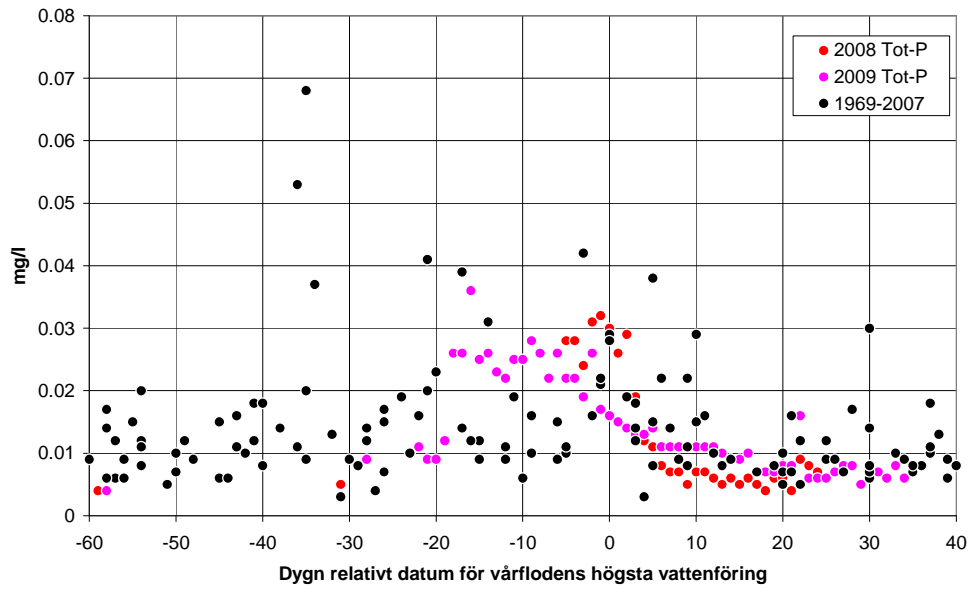
Figur 10. Observerad koncentration av totalfosfor i Viepsajåkkå, Piteälven relativt datum för vårfloedens högsta vattenföring. Modellberäknad vattenföring har använts eftersom det inte finns några vattenföringsmätningar i lokalen.



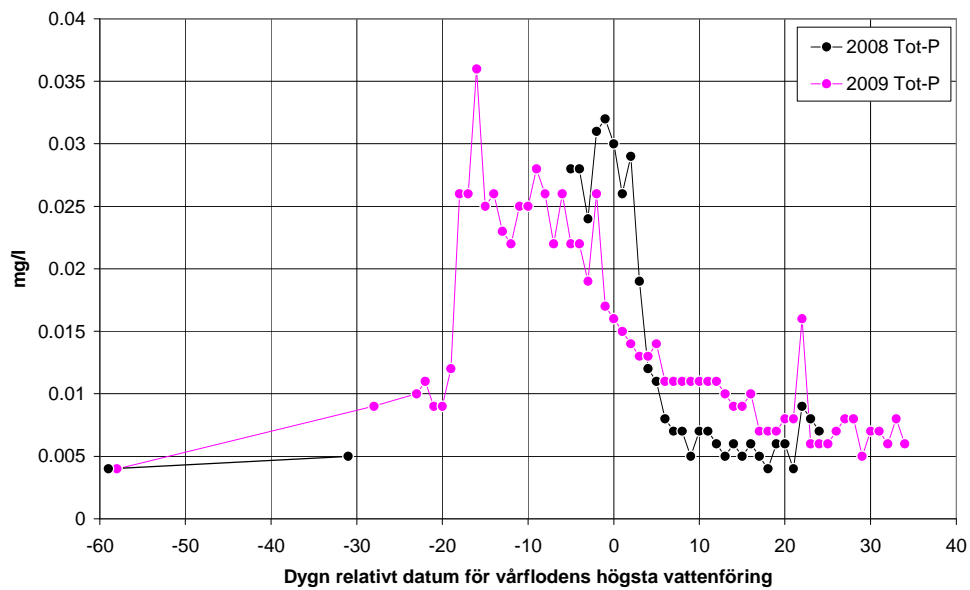
Figur 11. Observerad koncentration av totalfosfor i mynningen av Piteälven relativt datum för vårflodens högsta vattenföring. Vattenföringsdata från Sikfors kraftverk har använts eftersom det saknas vattenföringsmätningar i mynningen.



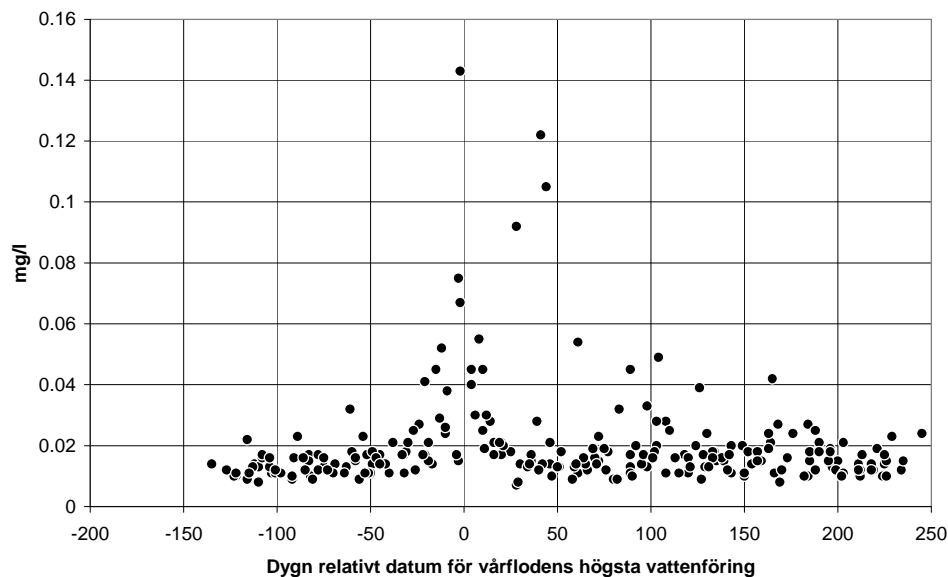
Figur 12. Observerad koncentration av totalfosfor i Maltbrännan, Vindelälven relativt datum för vårflodens högsta vattenföring. Vattenföringsdata från närliggande station i Granåker har använts eftersom det saknas vattenföringsmätningar i mätlokalen.



Figur 13. Observerad koncentration av totalfosfor i Stornorrfors, Umeälven relativt datum för vårlodens högsta vattenföring.



Figur 14. Observerad koncentration av totalfosfor i Stornorrfors, Umeälven relativt datum för vårlodens högsta vattenföring. Endast resultat från SLU:s kampanjmätning 2008-2009 visas.



Figur 15. Observerad koncentration av totalfosfor i Torrböle, Öreälven relativt datum för vårfloedens högsta vattenföring.

Hypotes 1: Sedimentation och resuspension i vattendrag

Som första hypotes antas sedimentations- och resuspensionsprocesser i vattendragen orsaka de höga fosforhalterna under vårfloden. Eftersom partikulär fosfor är knuten till sedimentpartiklar som transporteras längs vattendragen är det rimligt att dynamiken i sedimenttransporten även påverkar fosfordynamiken. Under perioder med låga flöden sker en sedimentation av partiklar i vattendragsfåran, vilket då bygger upp ett internt lager av fosfor. När vattenföringen stiger under vårfloden ökar vattenhastigheten och eroderar sedimentlager (s.k. resuspension). I HBV-NP modellen kan denna dynamik simuleras genom att introducera parametern *sedrele-ase*, vilket styr balansen mellan sedimentation och resuspension. En mer utförlig förklaring av parametern finns i rapporten av Hjerdt m.fl. (2009). Funktionen tillför inte någon fosfor till systemet utan omfördelar endast koncentrationen i tiden. Över en längre tidsperiod blir därför den totala transporten densamma, även om transporten under själva vårfloden ökar (och transporten under lågflödesperioder minskar). Denna funktion finns även inlagd i HYPE-modellen.

Hypotes 2: Erosion i vattendrag

Till skillnad från hypotes 1 med sedimentation och resuspension kan erosion i vattendrag ge en nettotillförsel av sediment och partikulärt bunden fosfor. Höga flöden leder ofta till erosion och är på så sätt viktiga ur geomorfologisk synvinkel, eftersom det är dessa höga flödestillfällen som primärt formar vattendragen. Dessutom medför landhöjningen i Norrland att partiklar som tidigare sedimenterat under havsytan på nytt kan eroderas och tillföra fosfor i vattendragen. Detta gäller fram-

för allt kustnära områden i mynningarna av norrlandsälvarna, dvs. områden som ligger under högsta kustlinjen.

I oreglerade älvar kan islossning i kombination med höga vattenhastigheter orsaka kraftig erosion av stränder och bottenar. Denna process kan simuleras i HBV-NP genom att aktivera funktionen för kanterrosion längs vattendrag (Pers, 2007):

$$\text{bank_load} = (\text{berpar} * \text{river_flow}^{0.6}) * \text{river_length} * \text{river_depth} * \text{soildens} * \text{enrich} / 1000$$

där *bank_load* är belastningen av partikulärt bunden fosfor från kanterrosion (kg d^{-1}), *berpar* är en parameter som kallas *berloc* för lokala åfåror och *bermain* för huvudvattendraget, *river_flow* är den aktuella vattenföringen ($\text{m}^3 \text{d}^{-1}$), *river_length* är vattendragets längd (m), *river_depth* är vattendragets djup (m), *soildens* är en konstant som motsvarar jorddensiteten ($=1\ 250 \text{ kg m}^{-3}$), och *enrich* är en parameter som anger fosforinnehållet i den eroderade jorden (g P / kg soil). Funktionen testades av Brandt och Hjerdt (2008) i ett försök att simulera tillskottet av fosfor i Göta Älv, och då användes *bermain*=20 och *enrich*=0,78 g/kg.

Erosionen i HBV-NP ger ett relativt konstant tillskott av partikulär fosfor oavsett vattenföring. För att förstärka beroendet av vattenföringen användes därför funktionen för erosion tillsammans med funktionen för sedimentation/resuspension (dvs. parametern *sedrelease*).

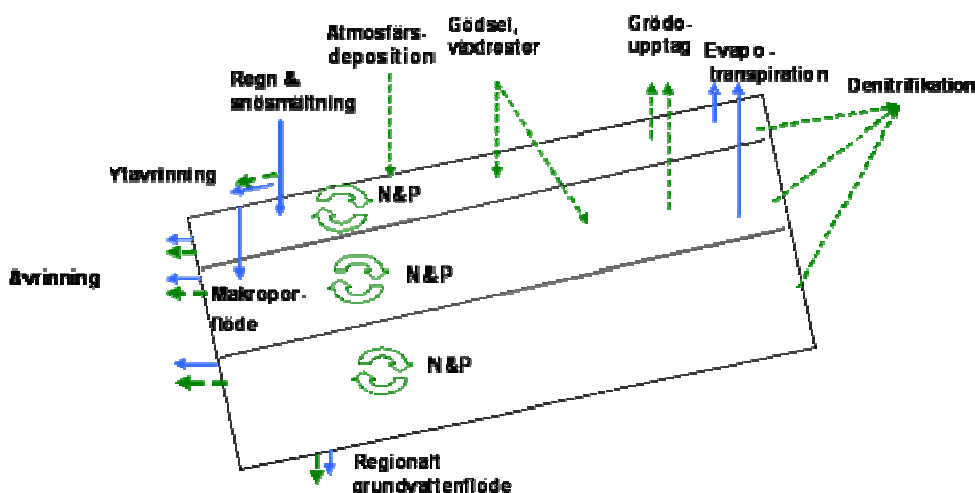
Hypotes 3: Ökat markläckage

I den tredje hypotesen antas att belastningen av fosfor från mark ökar när grundvattnivåerna stiger och ytavrinning uppstår under snösmältning. En höjd grundvattnenytta leder till att utlakningen av löst fosfor från de övre mer fosforrikare markskikten ökar. Den ökande ytavrinningen kan också leda till en ökad erosion av markpartiklar och tillhörande partikulärt bunden fosfor. Det är framför allt markområden i direkt anslutning till vattendragen, s.k. utströmningsområden, som kan påverka fosforhalterna i ytvattnet.

Ett ökat markläckage går inte att simulera i HBV-NP utan att förändra läckagekoefficienterna och/eller de ekvationer som styr skogsläckaget. Av denna anledning har HYPE-modellen (Arheimer, et al. 2008, Lindström, et al. 2009) använts för att testa denna hypotes.

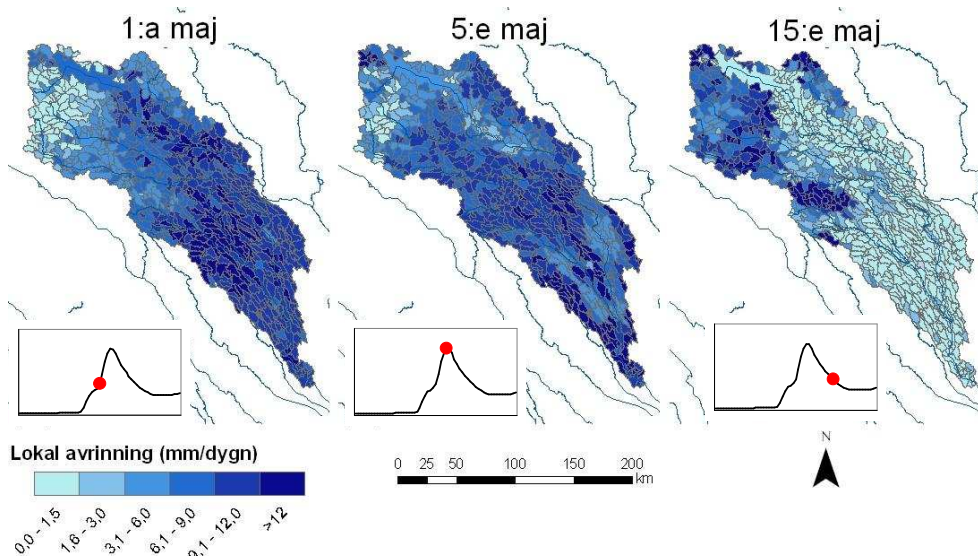
HYPE har separata beräkningar av vattenflöden samt transport- och omvandlingar av närsalter i mark, vattendrag och sjöar. Parametrarna i modellen kan vara generella för det modellerade området eller knutna till markanvändning eller jordart. Det modellerade området delas in i delavrinningsområden med angivna kopplingar mellan områdena. Inom varje delavrinningsområde finns en fördelning av s.k. markanvändnings-jordartsklasser (SLC) som är den minsta beräkningsenheten i modellen. För varje SLC beräknas avrinning och uttransport av näringsämnen. Marken i varje SLC är uppdelad i 1-3 skikt med specifika djup och simulerade markvattenhalter. Regn och smält snö infiltrerar i det översta markskiktet. Inom varje markskikt finns ett antal kväve- och fosforpooler med olika egenskaper. För

fosfor finns en pool med snabbt och en pool med långsamt nedbrytbart material från vilket fosfor frigörs genom nedbrytnings- och mineraliseringsprocesser. Löst fosfor i markvattnet regleras genom en jämvikt med markpartiklar. Kväve och fosfor tillförs de olika poolerna genom näringskällor som atmosfärisk deposition, gödsling samt nedbrytning och återföring av växtrester. Sänkor av näringsämnen inkluderar växtupptag och denitrifikation (Figur 16). Genom erosionsprocesser kan partikulärt fosfor transporteras till vattendragen. Mobilisering av markpartiklar på ytan sker genom bortslagning av erosivt regn eller genom att ytavrinnande vatten mobiliserar markpartiklar. Eroderat material transporteras till vattendragen med ytavrinnande vatten eller genom dräneringsrör (via makroporflöde). Flöde av vatten och lösta närsalter kan ske mellan markskikten och ut från markprofilen ifrån den delen av marken som ligger under den beräknade grundvattenytan. Ytavrinning kan ske då det översta markskiktet blir mättat eller på grund av att infiltrationskapaciteten i översta markskiktet överstigs. Avrunnet vatten med medföljande närsalter rinner till modellens sjö- och vattendragssystem.

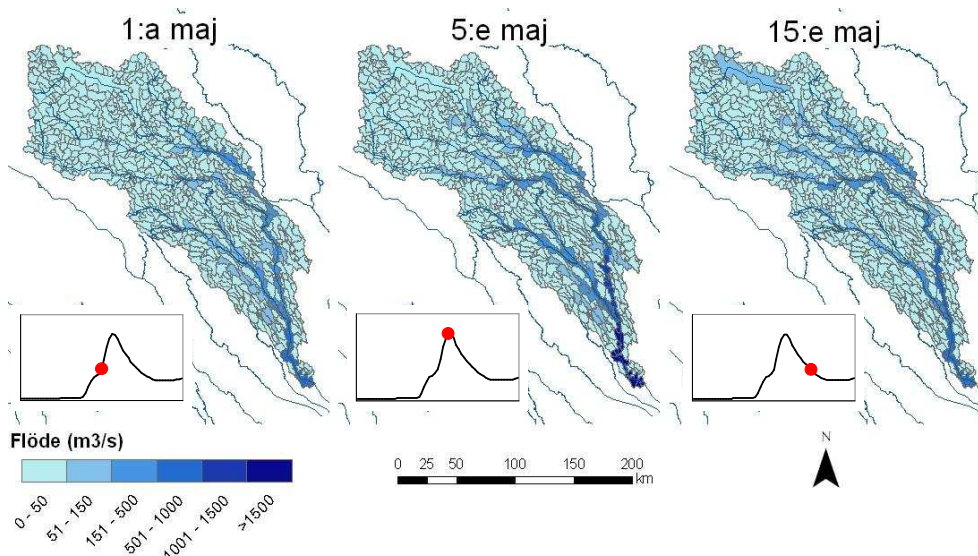


Figur 16. Vatten- och näringsflöden i marken i HYPE-modellen.

HYPE-modellen har tidigare satts upp för hela Sverige inom ramen för SMHI:s arbete för Vattenförvaltningen. Vid denna uppsättning kalibrerades modellen med generella parametrar för hela landet utan att optimera modellen för något speciellt område. Denna kalibrering stod som grund för den specialkalibrering som utfördes av Kalixälvens avrinningsområde (828 delavrinningsområden) inom detta projekt. De modellparametrar som kalibrerades var de jordartsknutna parametrar som kontrollerar ytavrinning, jämvikten mellan löst och adsorberat fosfor i jord samt jordens erosionsbenägenhet.

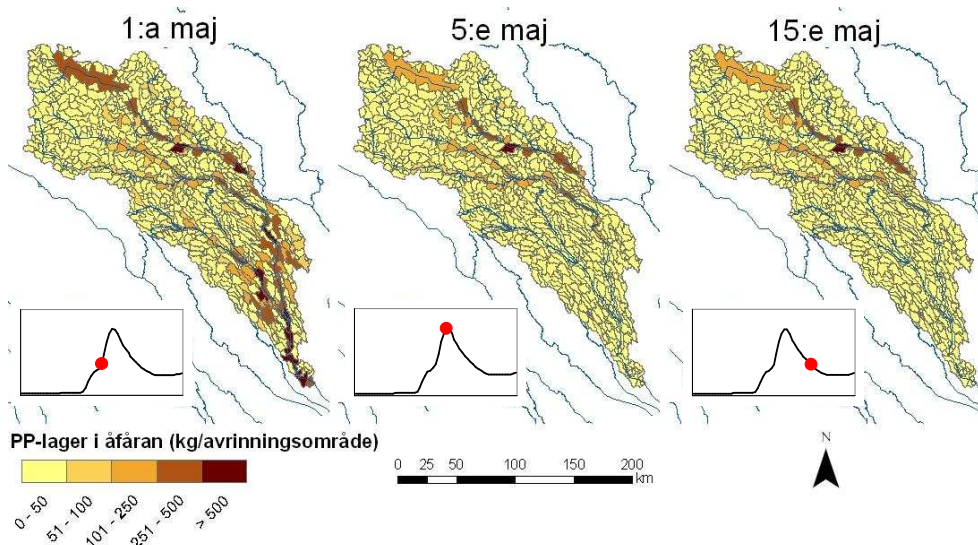


Figur 18. Simulerad lokal avrinning i Kalixälven per delavrinningsområde under 1:a, 5:e och 15:e maj 2009. Den aktuella vattenföringen i mynningen markeras med röd punkt i de infällda diagrammen. Simuleringen har gjorts med HYPE-modellen.

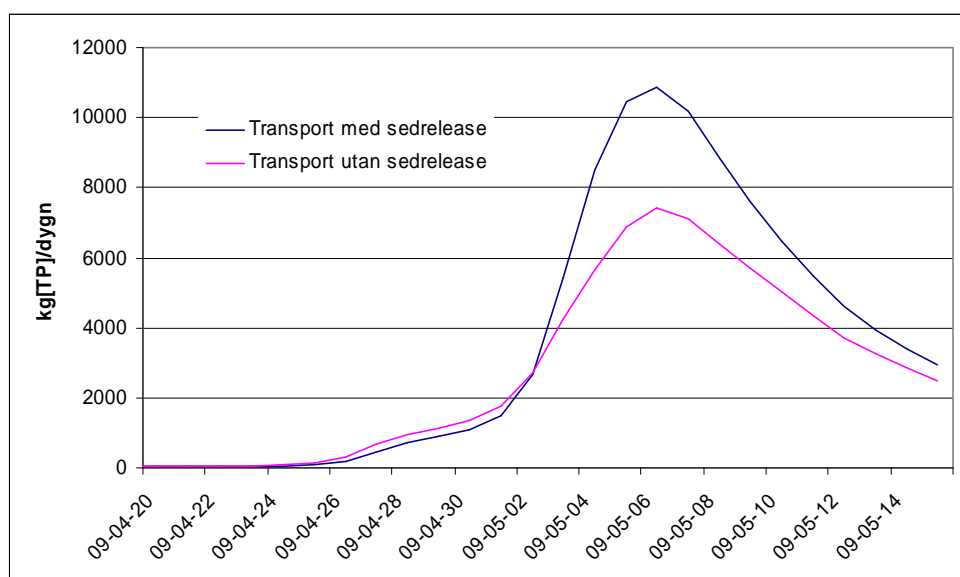


Figur 19. Simulerad vattenföring i utloppet av delavrinningsområde i Kalixälven under vårfloden 2009. Den aktuella vattenföringen i mynningen markeras med röd punkt i de infällda diagrammen. Simuleringen har gjorts med HYPE-modellen.

Kartbilder visar att det fosforlager som lagts upp under vintern i vattendragen (genom funktionen för sedimentation/resuspension) snabbt töms när vattenföringen börjar stiga (Figur 19 och Figur 20). På mindre än en vecka har det mesta av fosforlagret i vattendragen tömts. Simulerad transport (HYPE) under vårfloden 2009 i Kalixälven med sedrelease-funktionen på- och avslagen visas i Figur 21. Skillnaden i totaltransport mellan de två scenarierna under perioden är c:a 22 ton totalfosfor motsvarande 30% av den totala transporten under vårfloden.

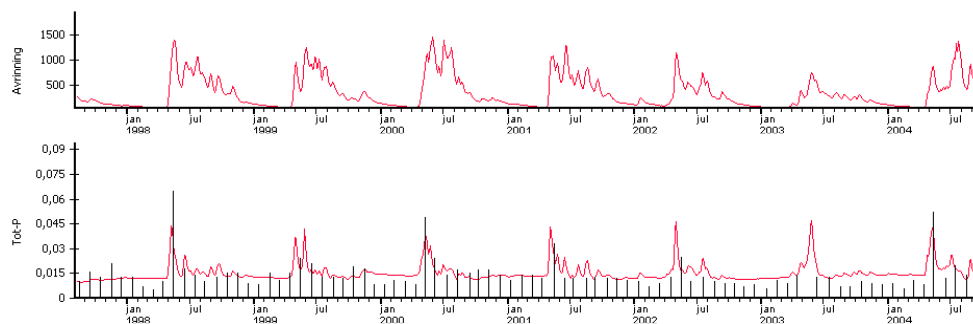


Figur 20. Mängd partikulärt bunden fosfor lagrat i vattendragen tillhörande Kalixälvens avrinningsområde under vårfloden 2009. Den aktuella vattenföringen i mynningen markeras med röd punkt i de infällda diagrammen. Simuleringen har gjorts med HYPE-modellen.



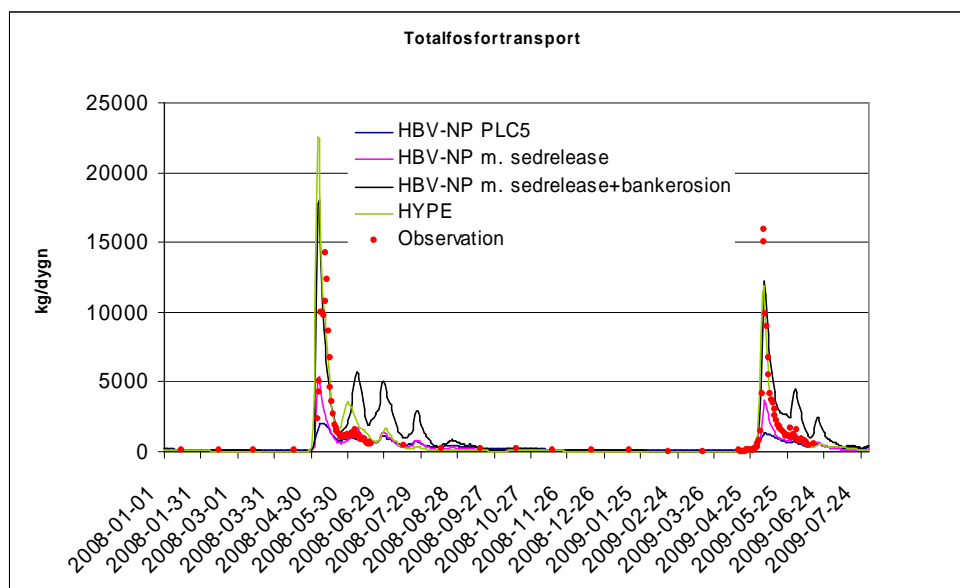
Figur 21. Mängd transporterad fosfor genom Kalixälvens mynning under vårfloden 2009 med sedrelease-funktionen på- och avslagen. Simuleringen har gjorts med HYPE-modellen.

Genom att införa en nettoerosion i HBV-NP kunde de observerade fosforhalterna i Kalixälvens mynning simuleras relativt väl (Figur 22). Den totala erosionen på strandzonerna motsvarar mellan 2-15 cm/år beroende av om alla vattendrag antas erodera eller endast huvudåfåror.



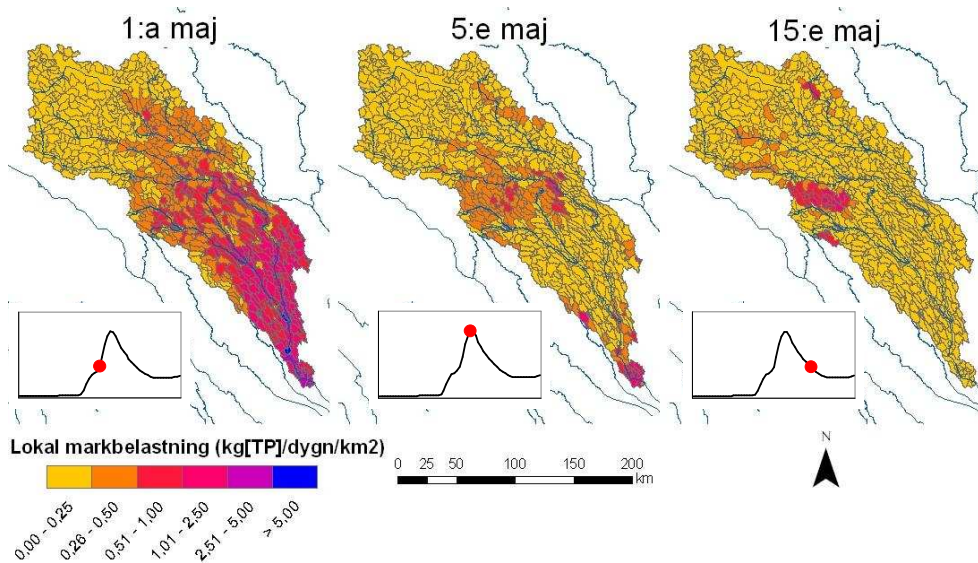
Figur 22. Simulering av vattenföring (övre) och totalfosforhalt (nedre) i Kalixälvens mynning 1998-2004. Simulerad halt visas med röd kurva och observerad halt med svarta staplar. Simuleringen har gjorts med HBV-NP modellen.

Figur 23 visar simulerad och observerad totalfosfortransport i Kalixälvens mynning under 2008-2009. I figuren syns tydligt den kraftiga underskattningen av transporten under vårfloödena med den ursprungliga versionen av HBV-NP. När resuspensionsfunktionen kopplas in förbättras dynamiken väsentligt men topparna underskattas fortfarande. När erosion i vattendrag läggs till simuleras topparna väl, samtidigt som det framstår som om erosionen blir för kraftig efter den initiala vårflodstoppen.



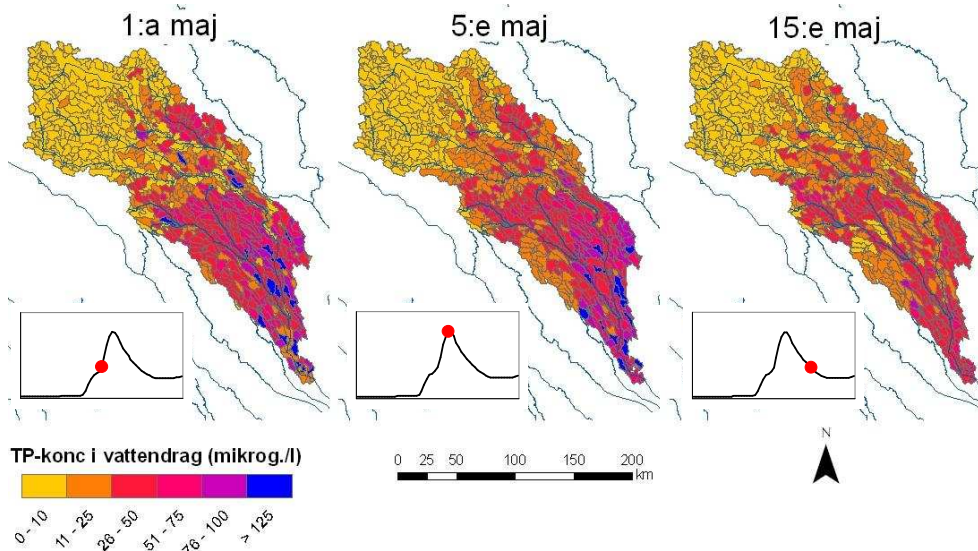
Figur 23. Simulerad och observerad totalfosfor transport under 2008-2009.

Simulerad markbelastning med HYPE-modellen visar att det främst är delområden i Kalixälvens nedre delar som bidrar med fosfor från denna källa, och då främst under vårfloödens inledning (Figur 24).



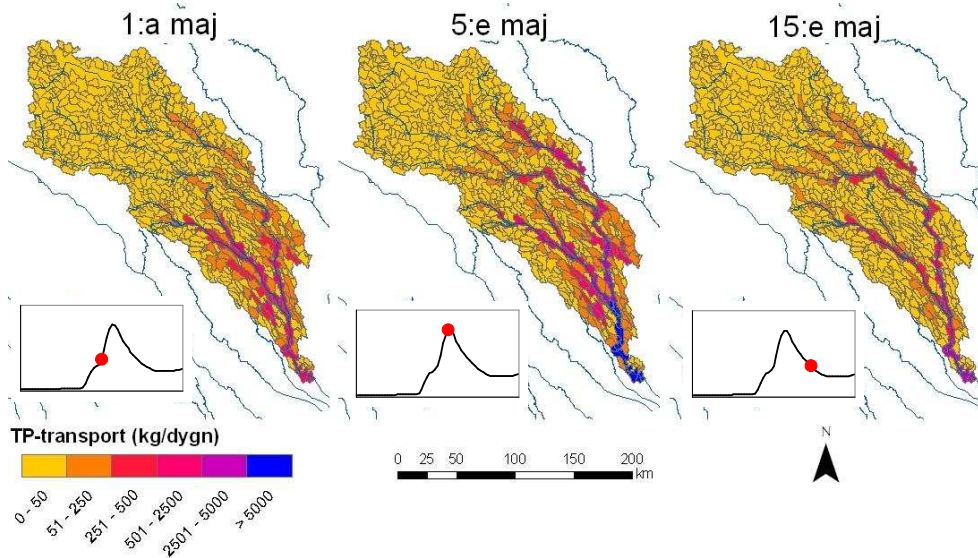
Figur 24. Belastning från mark till vattendrag av totalfosfor i Kalixälven under vårfloden 2009. Den aktuella vattenföringen i mynningen markeras med röd punkt i de infällda diagrammen. Simuleringen har gjorts med HYPE-modellen.

Utän nettoerosion kan både markläckage och resuspension av sedimenterade partiklar bidra till en hög koncentration av totalfosfor i de nedre delarna av Kalixälven under vårfloden 2009 (Figur 25).



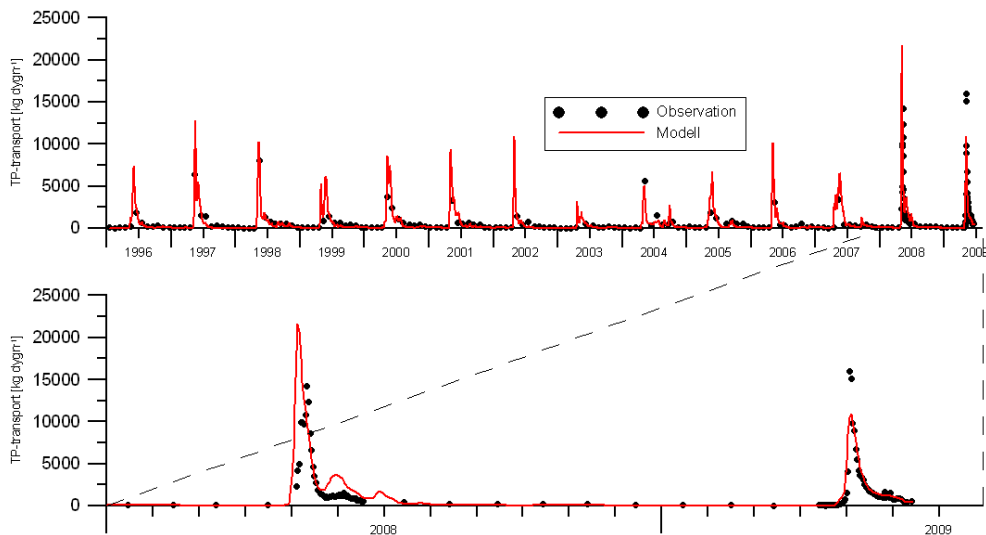
Figur 25. Totalfosforkoncentration i utloppet av delavrinningsområden i Kalixälven under vårfloden 2009. Den aktuella vattenföringen i mynningen markeras med röd punkt i de infällda diagrammen. Simuleringen har gjorts med HYPE-modellen.

Den totala transporten av totalfosfor (från markläckage och resuspension) följer i princip vattnets väg genom avrinningsområdet och är störst i delområden med stor genomströmning av vatten och fosfor (Figur 26).



Figur 26. Totalfosfortransport i utloppet av delavrinningsområden i Kalixälven under vårfloden 2009. Den aktuella vattenföringen i mynningen markeras med röd punkt i de infällda diagrammen. Simuleringen har gjorts med HYPE-modellen.

Modellsimuleringarna med både HBV-NP och HYPE lyckas relativt väl beskriva variationen i transport med tiden, även om det är svårt att pricka rätt nivåer under enskilda år (Figur 27).



Figur 27. Observerad (svarta prickar) och simulerad (röd kurva) totalfosfortransport i Kalixälvens mynning 1996-2009 (ovan) och för 2008-2009 (nedan). Simuleringen har gjorts med HYPE-modellen. Nedre diagrammet visar de två sista åren i detalj (zoomning enligt de streckade linjerna).

Diskussion och slutsatser

Resultaten från denna studie visar att det finns områden i norra Sverige med kraftigt förhöjda fosforhalter i samband med vårfloden och att merparten av denna fosfor är partikulärt bunden. Av de 12 försöksstationer som studerats är det framför allt mätningar i de nedre delarna av Torneälven, Kalixälven, och till viss del även i de nedre delarna av Umeälven och Öreälven, som uppvisar högre fosforhalter under vårfloden. Vad är det som utmärker dessa älvar? De är alla relativt oreglerade utom Umeälven, vars biflöde Vindelälven är en oreglerad gren, och sjöfattiga i de nedre partierna. Större sjöar eller lugnflytande sträckor (sel) gynnar sedimentation av partiklar och torde därför reducera fosforhalterna.

Varifrån kommer fosfor?

I mynningarna av andra mindre skogsälvar som studerats, t.ex. Sangisälven och Råneälven, är fosforhalterna relativt konstanta under året. Av någon anledning finns ingen tendens med förhöjda fosforhalter under vårfloden i dessa områden. På vilket sätt skiljer sig områden med förhöjda fosforhalter från andra områden? En faktor som kan vara viktig är hur vattendragen påverkas hydrauliskt under vårfloden. Vattendrag med flacka stränder och väl utvecklat flodplan har en tendens att svämma över i större omfattning än vattendrag med branta strandkanter. När stränderna svämmas över sker ett stort utbyte av material mellan vattendraget och omgivande mark, och detta skulle kunna vara en bidragande orsak till att vissa vattendrag får förhöjda fosforhalter under vårfloden. Fosfor i de övre markskikten kan troligtvis mobiliseras snabbt när marken översvämmas. Torneälven och Kalixälven har relativt flacka stränder i sina nedre lopp till skillnad från exempelvis Piteälven med brantare stränder. Jämför man kartunderlag från den översiktliga översvämningsskartering som tillhandahålls av Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB) syns vissa skillnader mellan exempelvis Kalixälven och Piteälven. Kalixälven (Räddningsverket 1999) har med sina flacka stränder större översvämningsskänsliga områden än Piteälven (Räddningsverket 2006). Öreälven har dock branta nipor med stor sedimenttransport och verkar avvika från denna förklaring.

Det är sannolikt att förhöjda fosforhalter under vårflodens start härstammar från en kombination av ökad markbelastning, resuspension och erosion. Sedimentation/resuspension omfördelar fosfortransporten under året och ger ett tydligt flödesberoende, vilket får anses som trovärdigt. Däremot påverkar dessa processer inte underskottet i belastning under längre perioder eftersom de inte utgör någon nettokälla av fosfor, utan måste kombineras med antingen nettoerosion och/eller belastning från marken. Om enbart erosion används som källa innebär detta att vattendragens strandlinje eroderas i en relativt hög takt, vilket kan tyckas vara osannolikt. Det är därför troligt att en ökad tillförsel av fosfor från marken i någon utsträckning ger upphov till de förhöjda fosforhalterna i vattendragen.

Hur kan fosfordynamiken bäst simuleras?

Kan fosforhalterna simuleras med HBV-NP? Resultaten visar att en kombination av funktionerna för sedimentation/resuspension samt erosion åtminstone grovt kan reproducera dynamiken hos de observerade halterna (Figur 22). Utan ett fosfortillskott genom erosion kan inte HBV-NP reproducera de observerade halterna. Detta skulle kräva att läckagekoefficienterna för markläckaget justerades, vilket i så fall måste göras utanför HBV-NP modellen och då drabbar hela den norra skogsregionen.

Simuleringar med HYPE-modellen kan däremot ge god överensstämmelse med observationerna utan att en nettoerosion av vattendragen införs, eftersom markläckaget kan justeras i större utsträckning. I denna studie förstärktes effekten av stigande grundvattennivåer och ökad ytavrinning med resulterande marktransport av fosfor.

Rekommendationer inför framtida beräkningar

I framtida beräkningsuppdrag bör man göra en ansats att simulera fosfordynamiken korrekt. Trots att relativt få vattendrag uppvisar tydligt förhöjda fosforhalter under vårfloden blir avvikelserna i totalbelastning stora eftersom det rör sig om stora vattendrag och stora vattenmängder. Endast i Kalixälven ger HBV-NP (med PLC5-kalibreringen) ett underskott på 89 ton respektive 82 ton totalfosfor under perioden för intensiv provtagning 2008 och 2009, motsvarande 2-3 % av Sveriges totala medelårsbelastning till omgivande kustområden. Tillsammans med liknande underskattningar av transporten i Torneälven, Umeälven och Öreälven sker troligtvis en underskattning av Sveriges totala medelårsbelastning av totalfosfor med mellan 5-10 %. Som första åtgärd rekommenderar vi att aktuella flodmynningsstationer kalibreras separat och inte enbart används för validering och att större hänsyn tas till transporten vid kalibreringen av fosforsimuleringar, åtminstone i norra Sveriges vattendrag. Detta bör göras inför PLC6. En kalibrering enbart utifrån koncentrationen riskerar att grovt underskatta betydelsen av enstaka höga koncentrationer i mätdata.

I beräkningarna bör man inte generalisera parametrarna för sedimentation/resuspension och erosion i HBV-NP att gälla för alla kustnära vattendrag i norra Norrland, eftersom det endast är ett fåtal stationer som uppvisar en tydlig höjning av fosforhalten under vårfloden. Risken är då att man överskattar fosfortransporten i vattendrag som saknar observationer. Det är istället bättre att individuellt kalibrera de större vattendragen för att få dessa att ge så korrekt belastning som möjligt i modellen.

Referenser

Arheimer, B., Lindström, G., Pers, C., Rosberg, J. and J. Strömqvist, 2008. Development and test of a new Swedish water quality model for small-scale and large-scale applications. XXV Nordic Hydrological Conference, Reykjavik, August 11-13, 2008. NHP Report No. 50, pp. 483-492.

Brandt, M. och Hjerdt, N. 2008. Fosfortransport i Göta Älv. Delrapport. Förbättrad modellering av fosforhalter i samband med vårflöden och höga flöden. SMED Rapport, Avtal 308 0801

Brandt, M., Ejhed, H. och Rapp, L. 2008. Näringsbelastning på Östersjön och Västerhavet 2006. Underlag till Sveriges PLC5-redovisning till HELCOM. Naturvårdsverket rapport 5815.

Hjerdt, N, Brandt, M, Pers, C. och Rosberg, J. 2009. Förbättring av beräkning av erosion och sedimentation (retention) i små vattendrag. SMED Rapport, Avtal 308 0907.

Lindström, G., Pers, C. Rosberg, J., Strömqvist, J. and B. Arheimer, 2009. Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions in the Environment) model - A water quality model for different spatial scales. Hydrology Research, in press.

Pers, C. 2007. HBV-NP Model Manual. SMHI Hydrologi Nr 103.

Räddningsverket 1999. Översiktlig översvämningskartering längs Kalixälven. Rapport nr 10. Finns numera vid Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB): www.msb.se

Räddningsverket 2006. Översiktlig översvämningskartering längs Piteälven. Rapport nr 50. Finns numera vid Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB): www.msb.se