



Ämnestransporter under vårflöden i Ume älv och Kalix älv

Effekter på transportberäkningarna av en utökad
provtagningsfrekvens

Pernilla Rönnback, Lars Sonesten, Mats Wallin

Institutionen för vatten och miljö, SLU

Box 7050

750 07 Uppsala

Tel. 018 – 67 31 10

<http://www.ma.slu.se>

Tryck: Institutionen för vatten och miljö, SLU
Uppsala, 2009-12-03

Innehåll

SAMMANFATTNING	4
SUMMARY	5
BAKGRUND OCH SYFTE	7
METODER	9
OMRÅDESBESKRIVNING	9
VATTENPROVTAGNING OCH VATTENKEMISKA ANALYSER	10
ÄMNESTRANSPORTBERÄKNINGAR.....	10
VÄDRET 2008 OCH 2009.....	10
RESULTAT	11
VATTENFÖRING OCH KONCENTRATIONER I VATTENDRAGEN.....	11
ÄMNESTRANSPORTMÄNGDER.....	15
DISKUSSION	26
PÅVERKAN PÅ VATTENKEMIN PÅ GRUND AV ÖKAT FLÖDE I ÄLVAR	26
JÄMFÖRELSE MELLAN DYGNSPROVTAGNING, VECKOPROVTAGNING OCH MÅNADSPROVTAGNING – EFFEKTER PÅ BELASTNINGSBERÄKNINGARNAS KVALITET.....	27
SLUTSATSER	28
REFERENSER	30

Sammanfattning

Stora mängder av olika ämnen transporteras i våra vattendrag i samband med de vattenflödestoppar som sker i anknytning till avsmältningen av snö och is under våren. I denna rapport har vattenkemidata undersökts och utvärderats från intensifierade provtagningar under vårfloderna 2008 och 2009 i de nedre delarna av Kalix och Ume älv. De båda norrländska älvorna tillhör delprogrammet Flodmynningar där målet är att ta fram dataunderlag som beskriver tillståndet i de viktigaste större vattendragen, samt beräkna hur mycket olika ämnen transporteras med dessa ut till havet. I detta arbete har belastningsberäkningar uträknade från dygnsvattenprovtagningen jämförts med beräkningar gjorda från den ordinarie månatliga vattenprovtagningen där syftet har varit att granska hur en utökad provtagningsfrekvens påverkar belastningsberäkningarnas kvalitet.

Vattenföringen i både Kalix och Ume älv karaktäriseras båda åren av en flödestopp under första delen av maj som sakta klingar av för att under mitten av juni nås av en andra, dock mindre flödestopp då den s.k. fjällfloden kulminerar. Dygnskoncentrationerna av de undersökta variablerna pH, totalt organiskt kol (TOC), Tot-P, PO₄-P, Tot-N, NO₂+NO₃-N, Fe, Abs._Diff, Cu och Zn har liknande mönster i båda älvorna under vårfloden. Signifikanta samband med flödet kunde ses hos pH som sjunker då flödet ökar, medan TOC, P-fraktionerna, Fe, Cu och Abs._Diff ökar. För N-fraktioner och Zn fanns inga signifikanta samband med flödet, dock uppvisade de högre koncentrationer vid ökat flöde. Det positiva sambandet mellan vattenföring och koncentrationen av TOC, P, Fe, Cu och Zn, samt för N i vissa fall innebär givetvis att transporten av dessa ämnen ökade i samband med högt flöde.

Då ämnestransporten beräknad från dygnsprovtagningen jämförs med månadsprovtagningen uppvisade den totala transporterade mängden hos de flesta studerade variabler beräknat från dygnsprovtagning högre total mängd jämfört med beräkningar från månadsprovtagningen. Detta tyder på att månadsprovtagningen underskattar belastningen på havet. Dock är underskattningen relativt liten och varierande hos de flesta variabler under de två undersökta åren. Generellt är andelen av de totala ämnestransporterna för de olika variablerna under vårflödet större i Kalix älv än i Ume älv, vilket även följer vattenföringen som är högre i Kalix älv. Den största skillnaden ses hos Fe och Tot-P, vars mängd ut till havet under vårfloden i den reglerade Ume älven är endast ungefär en tredjedel av den sammanlagda årstransporten, medan de i den oreglerade Kalix älv utgör nästan två tredjedelar av årstransporten. Högst sannolikt är orsaken den att Kalix älv är oreglerad och har ett kraftigt vårflöde, som för med sig stora mängder av organiskt material och suspenderade partiklar både från strandkanten och genom snösmältningen inåt land. Dessa partiklar binder till sig både näringsämnen och metaller som sedan förs iväg nedströms. I en tidsstyrd månadsmätning i en oreglerad älv som Kalix älv kan man i värsta fall obemärkt undgå en vårflod, som håller på ungefär en månad, vilket gör att man i så fall kommer att underskatta årstransporten till havet för flera ämnen.

En flödesstyrd provtagning i de oreglerade norrländska älvorna, Torne älv, Kalix älv, Pite älv och Vindelälven kan kanske förbättra precisionen något, medan det månatliga provtagningsintervallet förefaller vara tillräckligt för de flesta ämnena. Då reglerade älvar har ett jämnt flöde över året och därmed en jämnare ämnestransport, är troligtvis 12 tidsstyrda provtagningar tillräckliga. Ett alternativ till flödesstyrd provtagning/-mätning kan vara att intensifiera provtagningarna genom att t.ex. ta prover veckovis under perioden då vårflödet antas vara störst. Detta skulle kunna inskränkas till att endast omfatta de oreglerade älvorna eller till samtliga norrländsälvar med ett tydligt vårflöde. Men beräkningar av veckoprovtagningen i den här studien gav inte nämnvärt bättre resultat än månadsprovtagningen och i så fall bör denna metod undersökas bättre. Detta förfarande

är dock mindre lämpligt för vattendragen i den södra delen av landet där våflödena både är mer varierande i omfattning och tidpunkt.

Summary

A large quantity of different elements is transported in our water courses as the discharge reaches its maximum which happens in connection to snow and ice melting in spring. In this report, water chemistry data from intensified water samplings during spring flood 2008 and 2009 in the lower parts of Kalix and Ume River is examined and interpreted. Both rivers belong to the programme - monitoring of the river mouths of large rivers, where the aim is to deliver data that describes the status of the most important large water courses, and calculate how much of different elements are reaching the seas. In this work, calculation of loads, which are calculated from daily water samplings, have been compared with loads calculated from the ordinary monthly water sampling programme. The aim was to examine how an increased sampling frequency will affect the quality of the calculation of loads.

The discharge in both Kalix and Ume River is, both years, characterized of a discharge peak during the first half of May which will slowly decrease until middle of June when a second, considerable smaller flow peak will culminate, the so-called mountain flood. The daily concentrations of the examined variables pH, total organic carbon (TOC), Tot-P, PO₄-P, Tot-N, NO₂+NO₃-N, Fe, Abs._Diff, Cu and Zn have similar patterns in both rivers during spring flood. Significant relationships to discharge could be seen in pH, which decreases when discharge increases, while TOC, P-fractions, Fe, Cu and Abs._Diff increase. N-fractions and Zn had no significant relationship with discharge, yet they showed increased concentrations with increase discharge. The positive relationship between discharge and the concentrations of TOC, P, Fe, Cu and Zn, and in some cases for N-fractions means certainly that the flux of these elements increase with increase discharge.

The element flux calculated from the daily samplings was compared with the element flux from the monthly samplings. The results showed that the total flux of most of the elements calculated from the daily samplings was higher compared with calculations from the monthly samplings, indicating that the monthly sampling underestimates the loads to the sea. The underestimation is, however, relatively small and varies among most of the variables during the two studied years. Generally, the proportion of total element flux is for most of the variables during spring flood higher in Kalix River than in Ume River, which also follows the discharge that is higher in Kalix River. The largest difference is seen among Fe and Tot-P. During the spring flood, in the regulated Ume River are the loads of Fe and Tot-P only one third of the total annual load, while the loads in the unregulated Kalix River are almost two third of the annual loads. The largest reason is that Kalix River is unregulated and has a powerful spring flood that transports a vast amount of organic matter and suspended particles from both the river bed and through snow melting from inland. These particles have a tendency to form complexes with both nutrients and trace metals which will flow downstream. In a regularly spaced monthly sampling programme, in an unregulated river like Kalix River, one could in worst case unnoticed avoid a spring flood that last about one month, which probably will lead to underestimation of the total annual flux of many variables.

A flow-weighted water sampling in the unregulated rivers in northern Sweden, Torne River, Kalix River, Pite River and Vindelälven, would maybe give some improvements for the precision, while the monthly water sampling seems to be enough for most of the variables. Since the regulated rivers have a constant discharge over the year and, thus a more or less constant element flux, 12 regularly spaced samples will produce reliable annual load estimates. An alternative to the flow-weighted water sampling could be to intensify the water samplings by, for example taking samples weekly during periods when the spring flood seems to be highest. This could be limited to only include the unregulated rivers or every river in northern Sweden that have a clear spring flood, but

the calculations of weekly fluxes did not ending in any better results than monthly sampling and should before then be examined more carefully. This procedure is, however, less suitable for the water courses in the southern part of Sweden where the spring floods are more varying in both proportion and time.

Bakgrund och syfte

Flodtransporter och direktutsläpp från punktkällor till havet beräknas, sammanställs och rapporteras kontinuerligt till flera internationella organ så som EEA, OSPAR och HELCOM. För att uppfylla de krav som ställs på de olika rapporteringarna är det viktigt att regelbundet se över beräkningarna och det underlag som används till dessa. I ett tidigare SMED-uppdrag har ett antal möjliga åtgärder identifierats för att förbättra belastningsberäkningarna, bl.a. att utöka antalet stationer inom det nationella övervakningsprogrammet för sötvatten, delprogram flodmynningar, att inkorporera data från SRK-program och att utöka provtagningsfrekvensen i ett antal stationer (Sonesten 2009). Några av dessa åtgärder har nu testats i mindre skala och skall nu utvärderas där syftet med hela projektet är att kvalitetssäkra beräkningarna av belastningen på havet.

I detta delprojekt kommer en utökad provtagningsfrekvens i två norrländska älvar, Kalix och Ume älv, att testas och utvärderas. En intensifierad dygnsprovtagning under vårflödena 2008 och 2009 har genomförts och här utvärderas belastningsberäkningar gjorda från dygnsvattenprovtagningarna. Dessa beräkningar jämförs med beräkningar gjorda från de ordinarie månatliga vattenprovtagningarna. De variabler som ingår i studien är i första hand P, N, organiskt material, samt metallerna Fe, Cu och Zn. Syftet med delprojektet är att granska hur en utökad provtagningsfrekvens påverkar belastningsberäkningarnas kvalitet.

Metoder

Områdesbeskrivning

I detta projekt har två vattendrag i Norrland studerats, Kalix och Ume älv. Båda vattendragsstationerna tillhör delprogrammet Flodmynningar där målet är att ta fram dataunderlag som beskriver tillståndet i de viktigaste flodmynningarna, samt transporten av olika ämnen från Sverige via våra stora vattendrag ut till havet. Kalix älvs avrinningsområde är 23 845 km² stort och domineras av skogsmark (50 %), våtmark (22 %) och fjällhed-fjällskog (20 %). Ume älvs avrinningsområde är 26 567 km² stort och domineras av skogsmark (52 %), fjällhed-fjällskog (26 %) och våtmark (13 %). Information om markegenskaper har tagits fram i GIS med vägkartan som bas.

Kalix och Ume älv valdes på grund av att de båda anses ha markanta vårflödestoppar och därför kunde vara bra studieobjekt för den här studiens ändamål. Vattenföringens fördelning under året påverkas i hög grad av om en älv är reglerad eller ej. Generellt sett får en reglerad älv ett mer utjämnat flöde jämfört med flödet i en oreglerad älv. Kalix älv är en av fyra stora norrländska älvar (Torne älv, Kalix älv, Pite älv och Vindelälven) som i dagsläget är oreglerade, medan Ume älv är reglerad. Emellertid ansluter sig den oreglerade Vindelälven till Ume älv vid Vännäsby, som ligger några mil från mynningen och provtagningspunkten. Normalt karaktäriseras vårfloden i norrlandsälvar av en flödestopp omkring första halvan av maj som orsakas av snösmältning i skogslandskapet och ungefär en månad senare kommer ett mer utdraget flöde på grund av snösmältning i fjällområdet.

De vattenföringsdata som används i det här projektet mäts i Kalix älv vid Räkthors och i Ume älv vid Stornorrfor kraftverk. Båda stationerna ligger nära mynningen. Årsmedelvattenföringen för Kalix älv är 301 m³/s och för Ume älv 449 m³/s. Det årliga månadsmedelvärdeets maximum i Kalix älv varierar mellan 511-1422 m³/s och infaller främst under maj. I Ume älv varierar det årliga månadsmedelvärdeets maximum mellan 451-1552 m³/s och infaller oftast under juni. Medel- och maxvärden för båda vattendragen baseras på månadsmedelvärden mellan 1969-2008.

Vattenprovtagning och vattenkemiska analyser

Den ordinarie provtagningen omfattas av månadsvis provtagning och analys av vattenkemi. Provtagningen sker vanligtvis i mitten av varje månad. I detta projekt utökades provtagningen till dygnsprovtagning under vårflödesperioden. Dygnsprovtagning i Kalix älv utfördes år 2008 mellan 5 maj -18 juni och 2009 mellan 15 april – 12 juni. I Ume älv utfördes provtagningen år 2008 mellan 10 maj – 8 juni och 2009 mellan 20 april - 16 juni.

I detta projekt har utvärderingen av parametrar begränsats till att studera pH, totalt organiskt kol (TOC), Tot-P, PO₄-P, Tot-N, NO₂+NO₃-N, Fe, Abs._Diff, Cu och Zn . För samtliga parametrar har SLU, Institutionen för vatten och miljö ansvarat för analys av vattenproverna. För information om analysmetoder hänvisas till Institutionen för vatten och miljö hemsida ([http://info1.ma.slu.se/ma/www_ma.acgi\\$Analysis?ID=AnalysisList](http://info1.ma.slu.se/ma/www_ma.acgi$Analysis?ID=AnalysisList)). Abs._Diff är ett mått på mängden partikulärt material i vattenprovet och beräknas som differensen mellan ofiltrerad absorptions (Abs._OF) – filtrerad absorptions (Abs._F).

Ämnestransportberäkningar

Dygnstransporter för de studerade variablerna har erhållits genom multiplicering av dygnskoncentrationer med dygnsvattenföring, vilka sedan summerats till veckotransporter (måndag -söndag) för respektive vattendrag och år. Vid jämförelse med den månatliga provtagningen har dygnskoncentrationer beräknats genom linjär interpolering av koncentrationerna från de månatliga provtagningarna och därefter har samma beräkning gjorts som ovan för att erhålla veckotransporter. Även veckotransporter har beräknats och jämförts med den månatliga provtagningen. Beräkningen utfördes genom att först välja varje onsdagsprov från dygnsprovtagningen och sedan har dygnskoncentrationer beräknats genom linjär interpolering. Därefter har samma beräkning gjorts som ovan för att erhålla veckotransporter.

Vädret 2008 och 2009

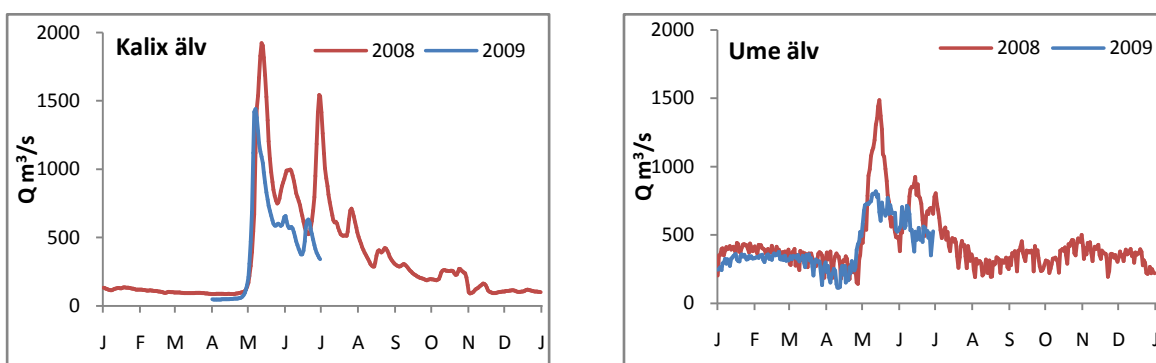
Vädret 2008 var inledningsvis milt och blåsigt med relativt stora nederbördsmängder. I mars var vattenföringen fortsättningsvis låg, men normal eller något över det normala. I slutet på april, i samband med varmare väder kom snösmältningen igång på allvar i södra Norrland, vilket gjorde att vattenföringen steg kraftigt och gav på vissa håll mycket höga flöden, medan den i norra Norrland och fjällen var på ungefär normal nivå. Vårfloden kulminerade på de flesta håll under första hälften av maj och gav höga eller mycket höga flöden i stora delar av Norrland, vilket i norra Norrland fortsatte under hela juni pga. snabb snösmältning i Lapplandsfjällen. I övriga Norrland var vattenföringen kring den normala eller under det normala jämfört med medelvärdet för månaden (SMHI, Väder och Vatten).

2009 inleddes med en mild och torr månad för att sedan i februari bli kall och få en nederbörd som var högre än normalt, medan mars återigen blev mild och torr. Under april månad startade snösmältningen, vilket gav hög vattenföring i södra Norrland medan övriga Norrland i början av månaden hade en normal vattenföring som gradvis steg till slutet av månaden. I Norrlands kusttrakter kulminerade vårfloden i månadskiftet april-maj för att sedan klinga av och ligga under det normala månadsmedelvärdet för resten av månaden och in i hela juni månad, förutom en nederbördsrik period i mitten av juni som syns som en tydlig topp i vattenföringen (SMHI, Väder och Vatten).

Resultat

Vattenföring och koncentrationer i vattendragen

Vattenföringen för Kalix och Ume älv för år 2008 och 2009 ses i figur 1. För Kalix älv är vattenföringsmönstret relativt likartad de båda åren. Vårfloden börjar samtidigt, men kulmen av den första vårfloden, där smältvatten från skogsmarken dominerar, infaller några dagar tidigare 2009 än 2008, samtidigt som flödet inte är lika högt det året (dygnsmaximum 2009 = 1442 m³/s jämfört med 2008 = 1923 m³/s). En andra mindre flödestopp då fjällfloden kulminerar infaller i månadsskiftet juni-juli år 2008 respektive senare hälften av juni månad år 2009. Även i Ume älv är vattenföringsmönstret likartad för de båda undersökta åren, medan själva dygnsmaximum är nästan dubbelt så högt 2008 (1487 m³/s) jämfört med 2009 (820 m³/s) och efterföljs samma år av en andra vårflod i mitten på juni, medan den andra vårfloden är knappt synbar för år 2009.

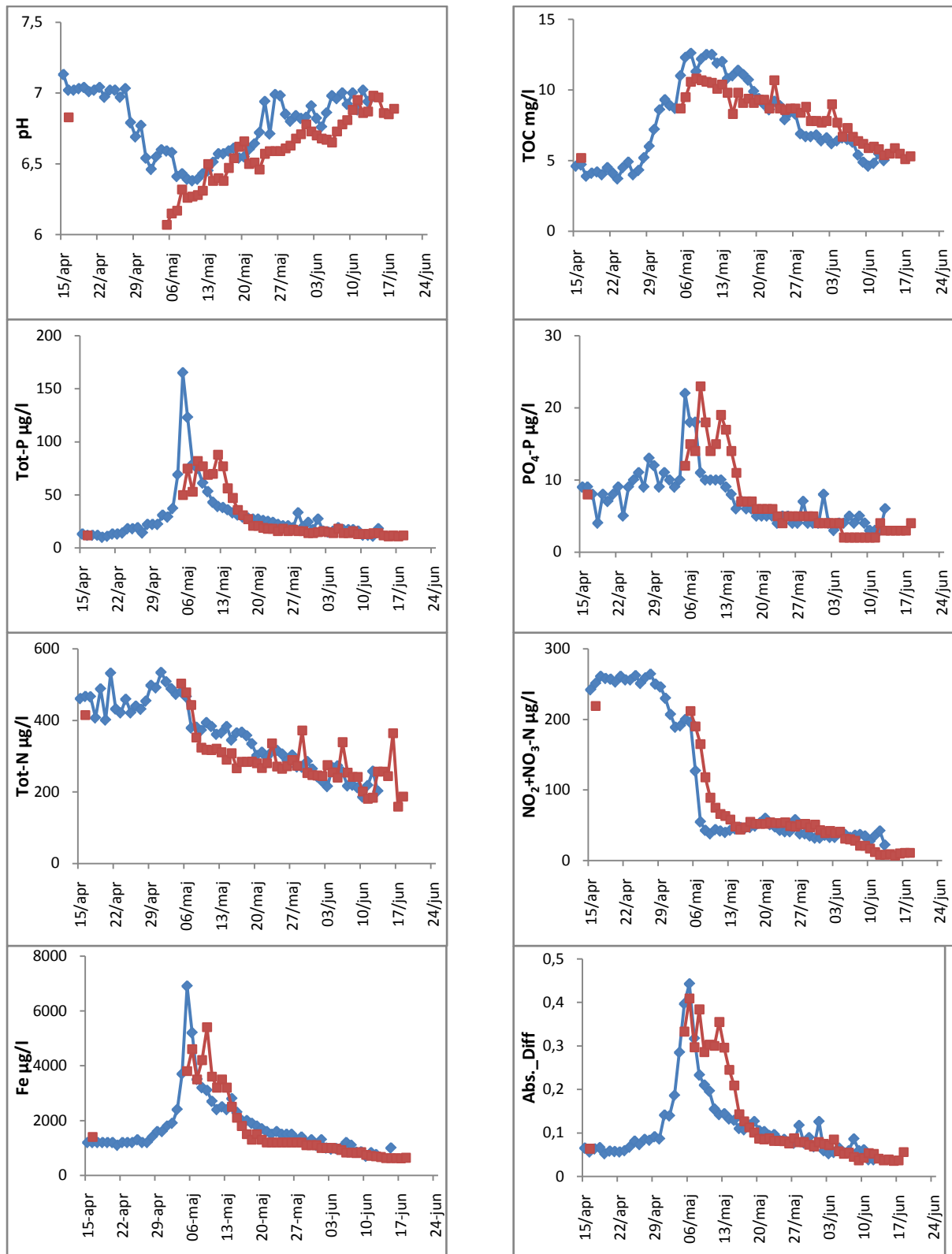


Figur 1. Dygnsvattenföringen i Kalix och Ume älv 2008 och 2009.

Figure 1. Daily discharge in Kalix and Ume River 2008 and 2009.

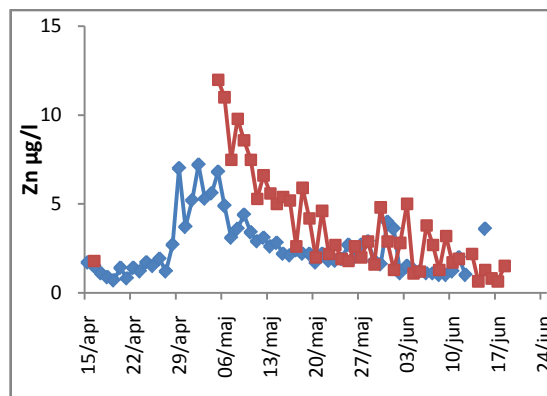
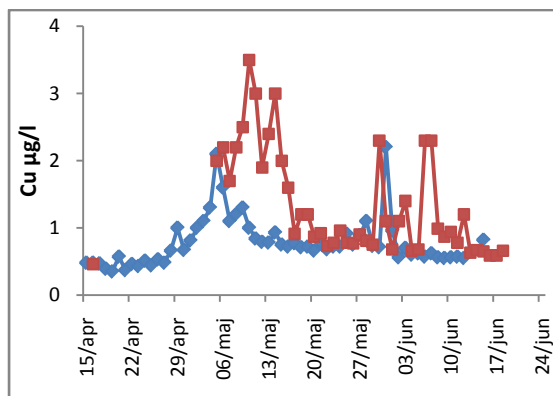
I figur 2 (Kalix älv) och figur 3 (Ume älv) visas dygnskoncentrationsvariationer för pH, TOC, Tot-P, PO₄-P, Tot-N, NO₂+NO₃-N, Fe, Abs_Diff, Cu och Zn för vårfloden 2008 och 2009.

Dygnsprovtagningen år 2008 kom tyvärr igång sent i båda älvorna och påbörjades endast några dagar innan flödestoppen, vilket gör det svårare att utläsa koncentrationsmönstret för samtliga variabler det året. I Kalix älv uppvisar pH tillsammans med N-fraktionerna Tot-N och NO₂+NO₃-N ett sjunkande koncentrationsmönster då vattenföringen når sitt dygnsmaximum. N-fraktionerna sjunker först då flödestoppen infaller för att sedan förbli låga under mätperioden, medan pH-värdet börjar sjunka redan då vattenföringen börjar öka och stiger återigen då flödet sjunker. Detta kan även ses i en linjär regression där pH uppvisar ett negativt samband med vattenföringen ($R^2=0,30$, $p<0,0001$ år 2008 och $R^2=0,57$, $p<0,0001$ år 2009), medan det inte finns något tydligt samband mellan N-fraktionerna och vattenföringen (Fig. 4). TOC uppvisar motsatsen till pH där koncentrationen stiger då flödet ökar för att igen sjunka vid minskad vattenföring (Fig. 2). Samma mönster uppvisar också Tot-P, PO₄-P, Fe, Abs_Diff och Cu, medan Zn har ett koncentrationsmaximum som infaller några dagar innan flödestoppen (Fig. 2). I den linjära regressionen kan signifikanta positiva samband ses för TOC, Tot-P, PO₄-P (endast 2008), Fe, Abs_Diff och Cu mot vattenföringen för båda åren ($R^2=0,33-0,77$, $p<0,0001$) medan sambandet mellan Zn mot vattenföringen är positivt, men dock ej signifikant (Fig. 4).



Figur 2. Koncentrationsvariationer för pH, TOC, Tot-P, PO₄-P, Tot-N, NO₂+NO₃-N, Fe, Abs._Diff, Cu och Zn under vårfloden 2008 (röd linje) och 2009 (blå linje) i Kalix älv.

Figure 2. Concentration variations of pH, TOC, Tot-P, PO₄-P, Tot-N, NO₂+NO₃-N, Fe, Abs._Diff, Cu och Zn during spring flood 2008 (red line) and 2009 (blue line) in Kalix River.

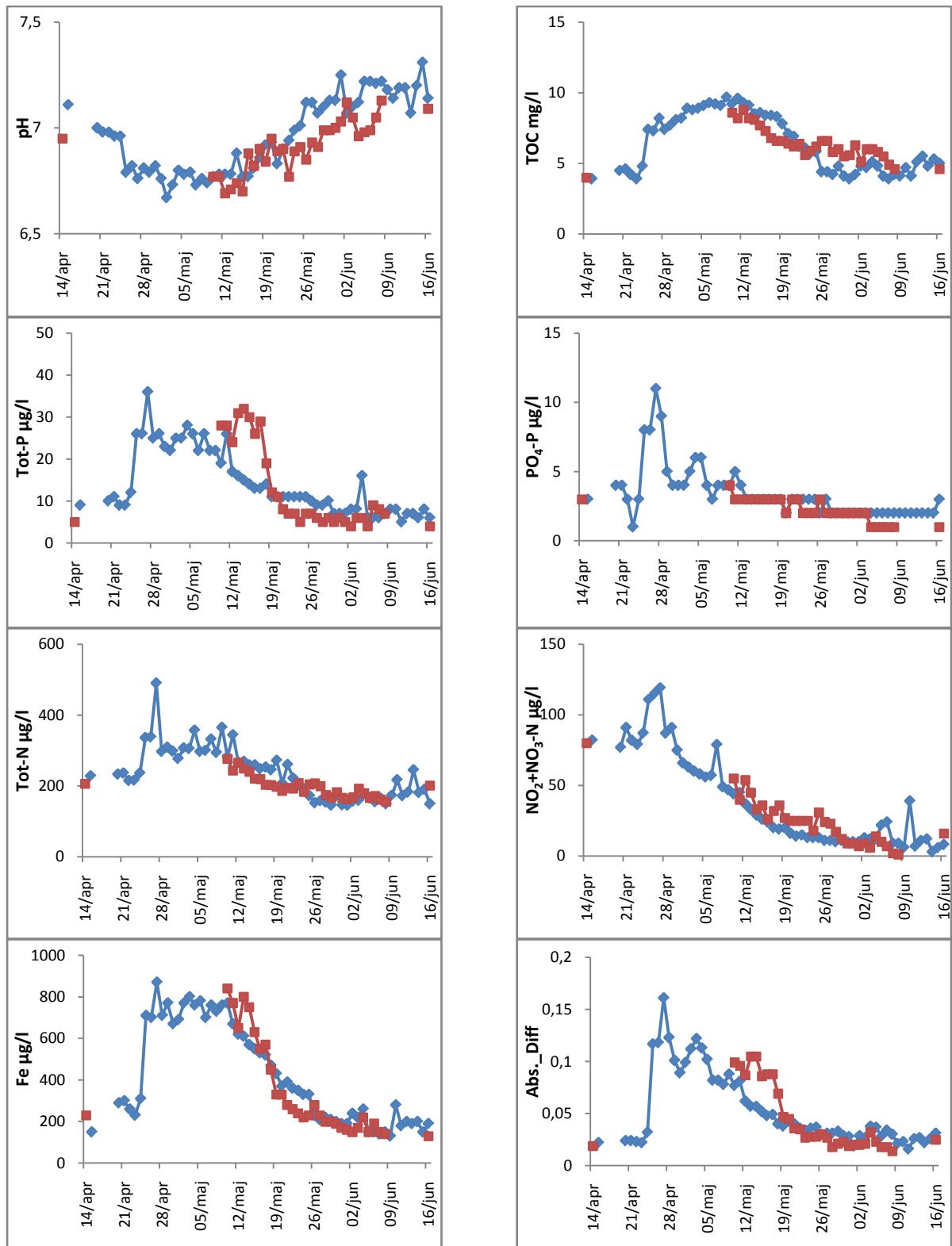


Figur 2. (Fortsättning)

Figure 2. (Continued)

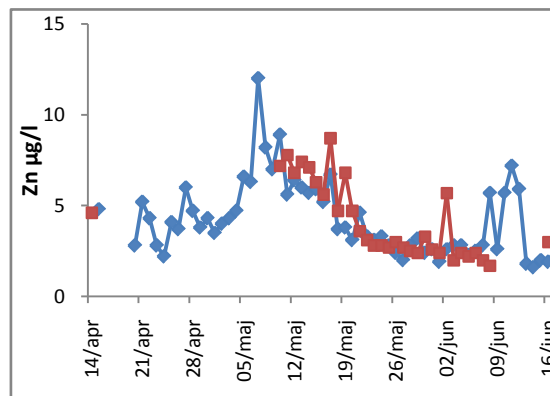
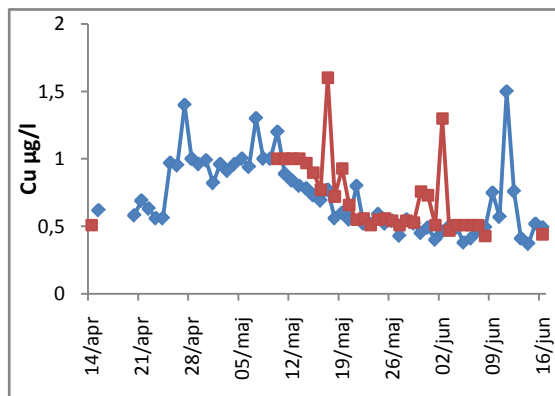
Både pH och TOC uppvisar liknande mönster i Ume älv som i Kalix älv där pH sjunker då vattenflödet ökar, medan TOC ökar vid samma tidpunkt (Fig. 3). P- och N-fraktionerna, Fe, Abs_Diff, samt Cu uppvisar alla ett liknande koncentrationsmönster för år 2009 i Ume älv, dvs. då vattenföringen börjar öka när dessa fraktioner sin topp, för att sedan långsamt sjunka till lägsta nivåer under slutet av mätperioden då även vattenföringen har minskat (Fig. 3). För år 2008 är mätperioden för kort för att eventuellt samma mönster ska kunna ses. Zink däremot uppvisar ett koncentrationsmaximum som infaller några dagar innan flödestoppen, dvs. liknande mönster som Zn i Kalix älv. De linjära regressionerna för år 2008 uppvisar för samtliga variabler, förutom för Cu, ett signifikant samband med vattenföringen ($R^2=0,37-0,88$, $p<0,0001$), där pH uppvisar ett negativt samband och de övriga ett positivt samband med vattenföringen. Dessa samband är däremot väldigt svaga för 2009 och endast $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ uppvisar ett signifikant positivt samband med vattenföringen ($R^2=0,27$, $p<0,0001$) (Fig. 6). En möjlig orsak till detta kan vara den kortare mätperioden 2008 då mätningen genomfördes endast under själva flödestoppen och inte några veckor innan som år 2009. Före flödestoppen har de olika variablerna olika koncentrationsmönster, medan samtliga variabler förutom pH ökar och samvarierar med vattenföringen under själva flödestoppen.

Linjära regressioner utfördes även mellan P-fraktionerna mot Fe och Abs_Diff eftersom koncentrationsvariationsmönstren hos dessa variabler ser ut att följas åt och transporten av fosfor till stor del sker i partikulär form (Ulén 2005). Signifikanta positiva samband mellan Tot-P, $\text{PO}_4\text{-P}$ och Fe i både Kalix och Ume älv under båda åren kunde också ses ($R^2=0,55-0,95$, $p<0,0001$) (Fig. 5 och 7). Sambanden mellan Tot-P, $\text{PO}_4\text{-P}$ och Abs_Diff var även signifikant positiv och höga i båda flodmynningarna ($R^2=0,91-0,97$, $p<0,001$) (Fig. 5 och 7).



Figur 3. Koncentrationsvariationer för pH, TOC, Tot-P, PO₄-P, Tot-N, NO₂+NO₃-N, Fe, Abs._Diff, Cu och Zn under vårfloden 2008 (röd linje) och 2009 (blå linje) i Ume älv.

Figure 3. Concentration variations of pH, TOC, Tot-P, PO₄-P, Tot-N, NO₂+NO₃-N, Fe, Abs._Diff, Cu och Zn during spring flood 2008 (red line) and 2009 (blue line) in Ume River.



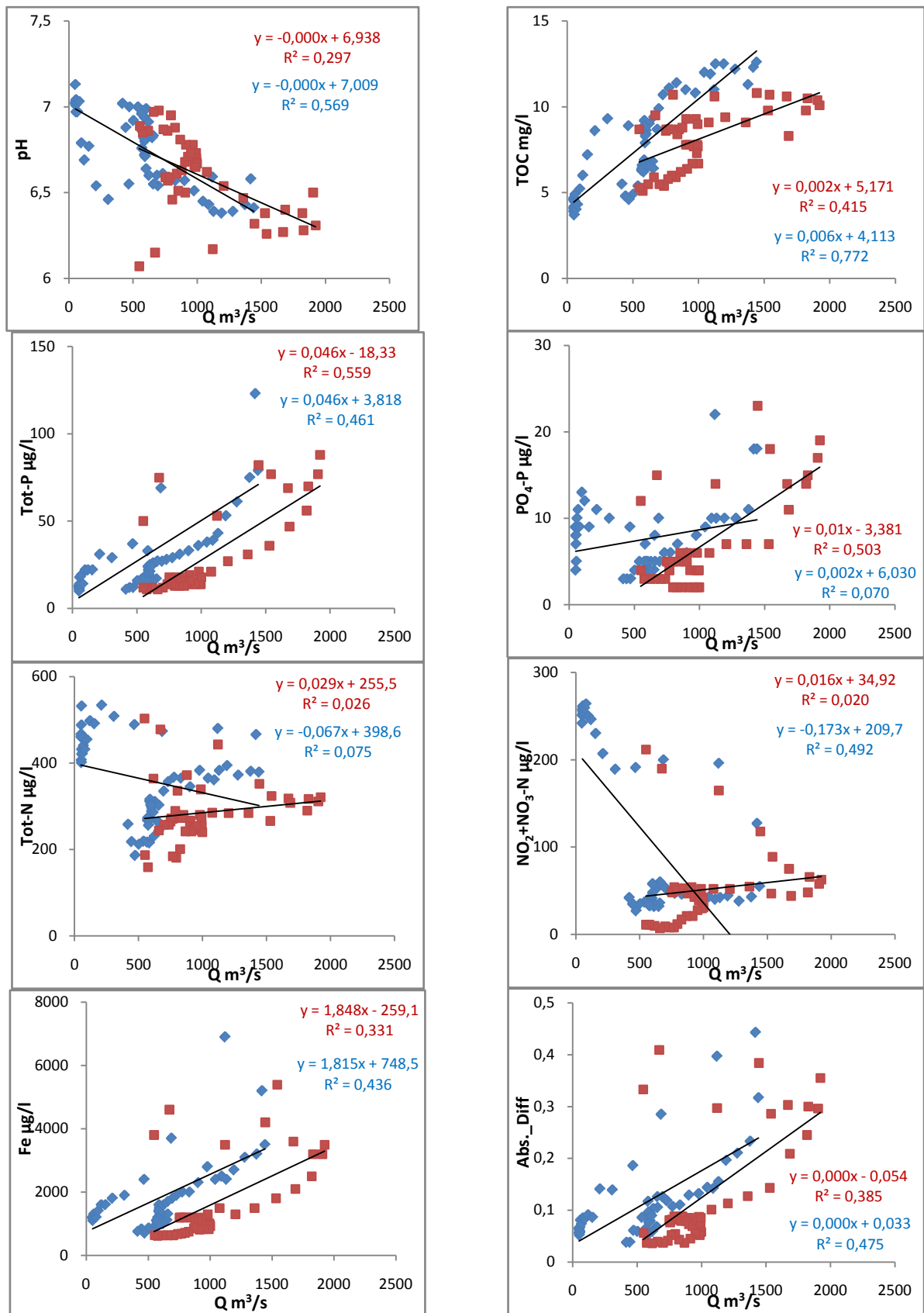
Figur 3. (Fortsättning)

Figure 3. (Continued)

Ämnestransportmängder

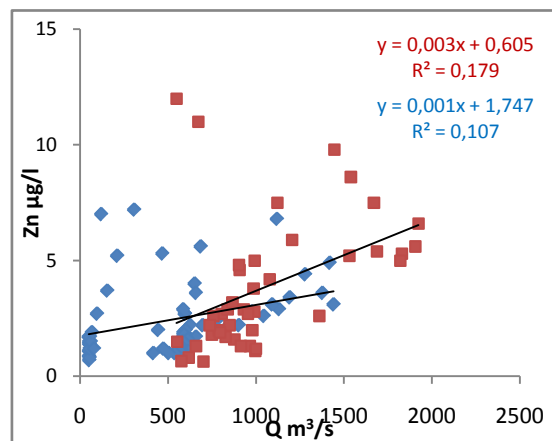
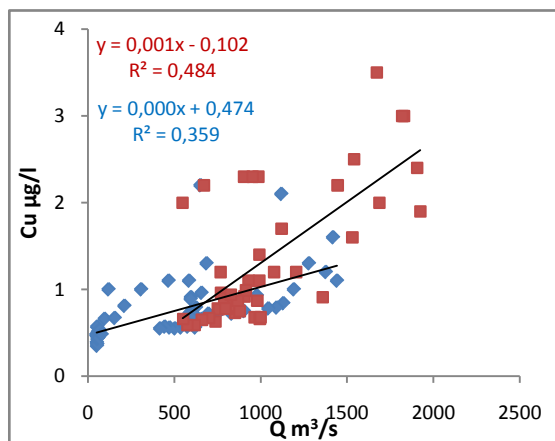
Medelveckoflödet och veckotransporter för Tot-P, PO₄-P, Tot-N, NO₂+NO₃-N, Cu, Zn och TOC visas för Kalix älv 2008 och 2009 i figur 8 respektive 9, samt för Ume älv 2008 och 2009 i figur 10 respektive 11. I samtliga figurer visas både veckotransporter beräknade från dygnsprovtagning och från månatlig provtagning med hjälp av linjär interpolering. Det positiva sambandet mellan vattenföring och koncentrationen av TOC, P, Fe, Cu och Zn, samt i vissa fall för N innebär givetvis att transporten av dessa ämnen ökar i samband med hög vattenföring (Fig. 4 och 6). Det generella mönstret vid jämförelse av de två olika beräkningssystemen för transporterad veckomängd är att transportmängder som beräknats från månatlig provtagning uppvisar en lägre mängd innan flödestoppen inträffar och överskattar mängden under veckorna efter flödestoppen under de två studerade åren (Fig. 8-11). Vid jämförelse av den totala transporterade mängden under vårflo den uppvisar dygnsprovtagningarna hos de flesta studerade variabler högre total mängd jämfört med beräkningar från månadsprovtagningarna (Tabell 1), vilket tyder på att månadsprovtagningarna underskattar belastningen på havet. Den största skillnaden (-5 – -39 %) ses hos Tot-P där månadsprovtagningarna underskattar mängden transporterat fosfor och här är avvikel sen större i Ume älv än i Kalix älv (Tabell 2). Även TOC och NO₂+NO₃-N uppvisar en avvikelse i månadsprovtagningen som varierar mellan +5 – -23 (Tabell 2). För övriga variabler är avvikel sen så gott som försumbar, med undantag för Cu och Zn i Kalix älv som vid den ena provtagningen har en något högre avvikelse, -23 % resp. -27 % (Tabell 2). Ser man i absoluta tal så är variationen i transporterad mängd mellan dygnsprovtagning och månadsprovtagning inte stor eller nästan lika i alla fall för PO₄-P, Tot-N, NO₂+NO₃-N, Cu och Zn (Tabell 1). Generellt är andelen av de totala ämnestransporterna för de olika variablerna under vårflo den större i Kalix älv än i Ume älv, vilket även följer vattenföringen som är högre i Kalix älv (Tabell 1).

Transportmängder beräknade från veckoprovtagning jämfördes även med transportmängder beräknade från månadsprovtagning. Fokus var riktat mot P-fraktionerna eftersom de hade den största avvikel sen i månadsprovtagningen från dygnsprovtagning (Tabell 2). Det generella mönstret för Tot-P och PO₄-P vid den här jämförelsen är liknande som vid jämförelsen mellan dygns- och månadsprovtagning, dvs. den månl iga provtagningen uppvisar en lägre mängd innan flödestoppen inträffar och överskattar mängden efter flödestoppen (Fig.12). Det samma gäller även för de andra variablerna och vid jämförelse av den totala transporterade mängden uppvisar veckoprovtagningen hos de flesta studerade variabler högre total mängd jämfört med beräkningar från månadsprovtagningarna och i några fall även högre än hos dygnsprovtagningarna (Tabell 1). Den största skillnaden ses fortfarande hos P-fraktionerna (-11 - -39 %), men även NO₂+NO₃-N och metallerna uppvisar en stor underskattning i månadsprovtagningen (Tabell 3).

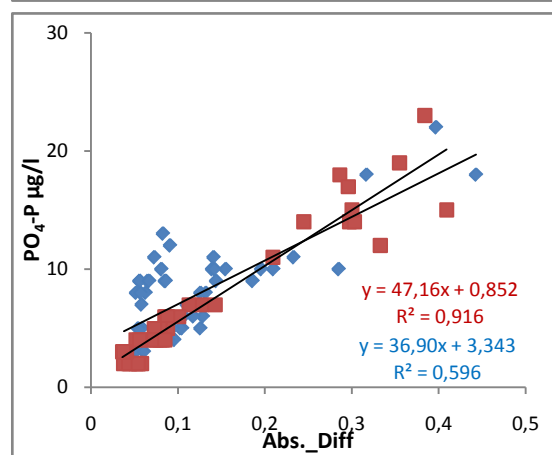
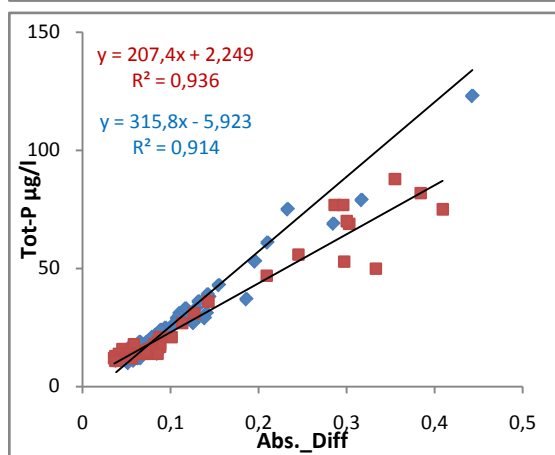
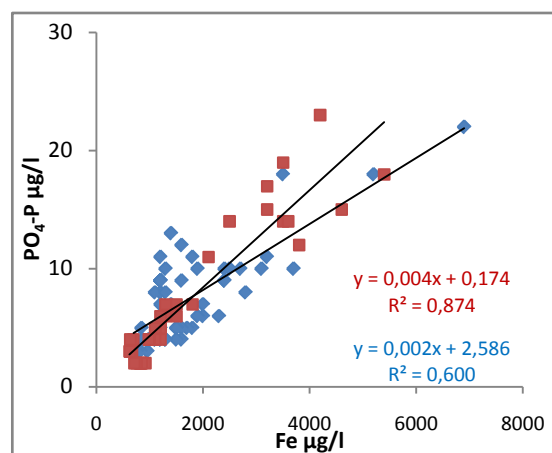
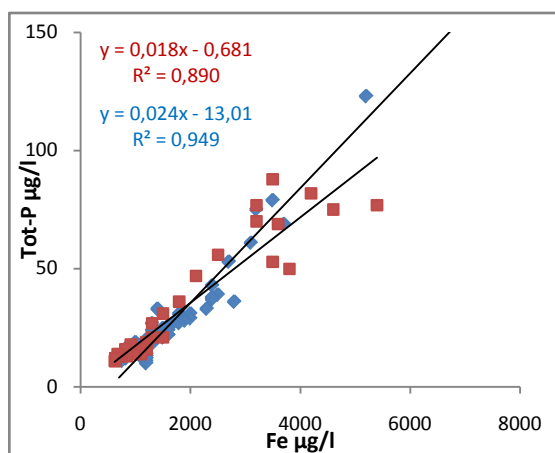


Figur 4. Linjära regressioner mellan vattenföring ($Q \text{ m}^3/\text{s}$) och samtliga variabler under vårfloden 2008 (röd punkt och text) och 2009 (blå punkt och text) i Kalix älv.

Figure 4. Linear regressions between discharge ($Q \text{ m}^3/\text{s}$) and all variables during spring flood 2008 (red point and text) and 2009 (blue point and text) in Kalix River.

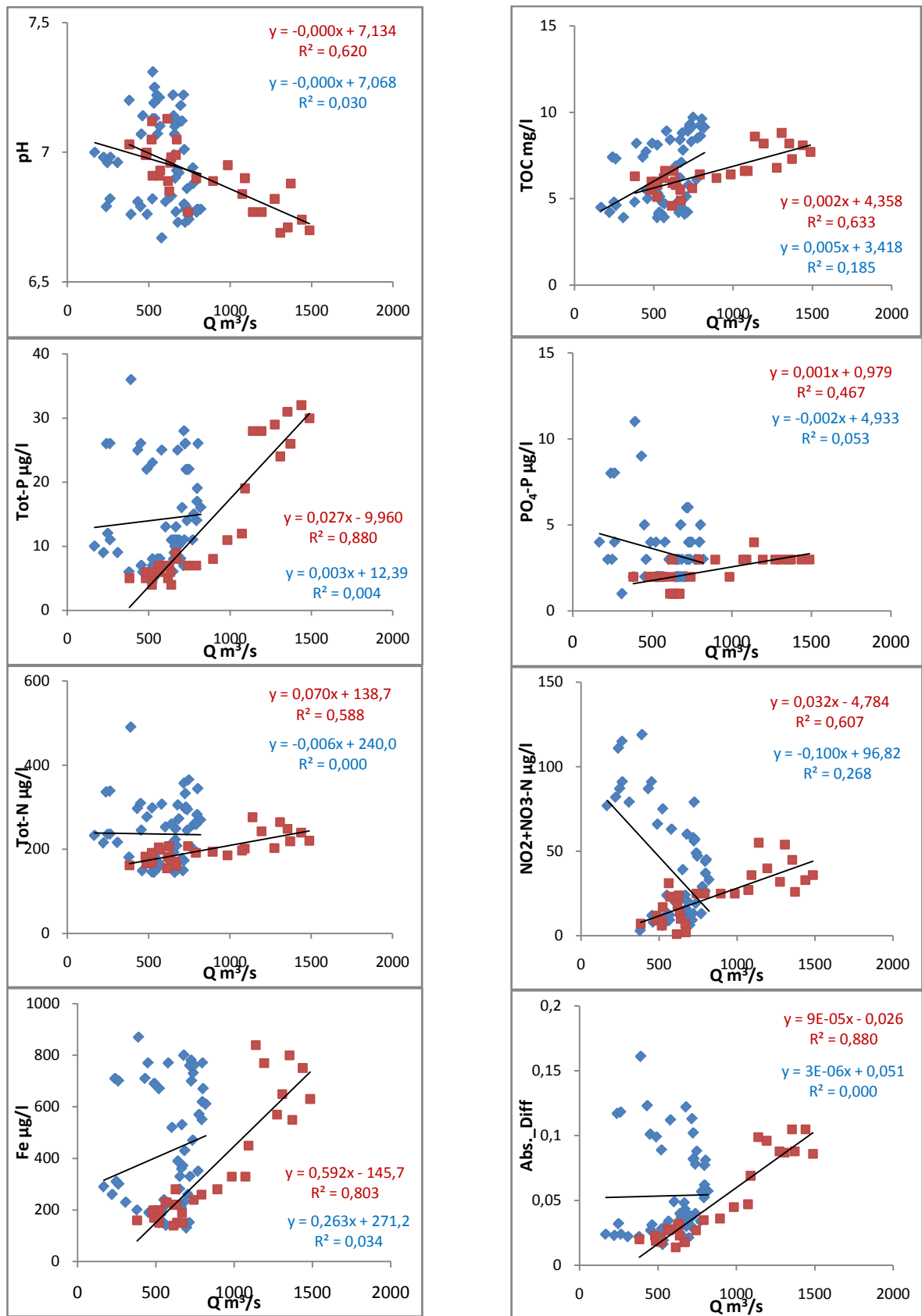


Figur 4. (Fortsättning)
Figure 4. (Continued)



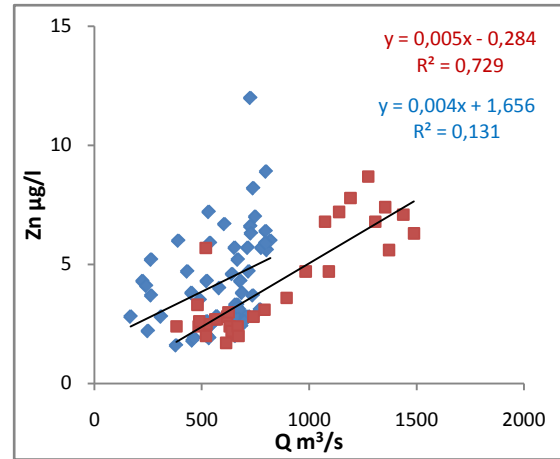
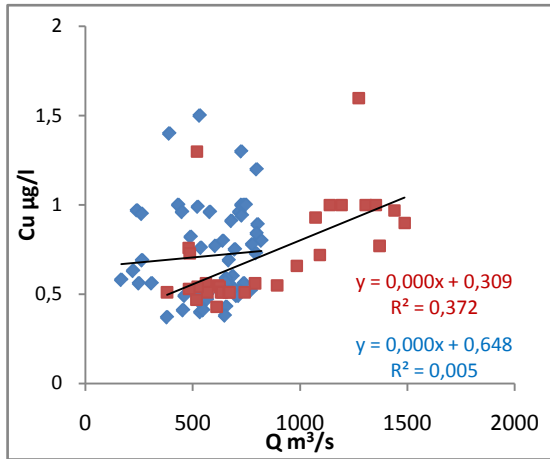
Figur 5. Linjära regressioner mellan Tot-P, PO₄-P mot Fe och Abs._Diff under vårfloden 2008 (röd punkt och text) och 2009 (blå punkt och text) i Kalix älv.

Figure 5. Linear regressions between Tot-P, PO₄-P and Fe and Abs._Diff during spring flood 2008 (red point and text) and 2009 (blue point and text) in Kalix River.

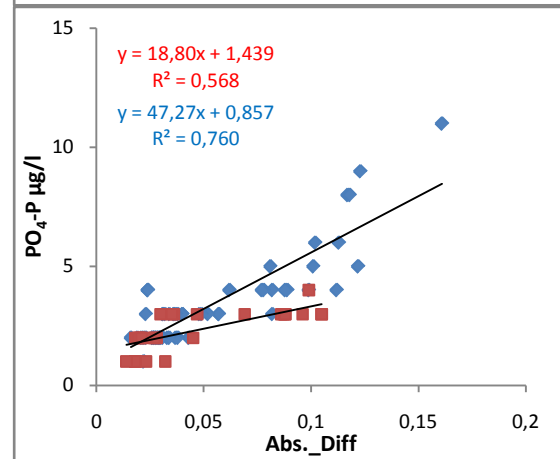
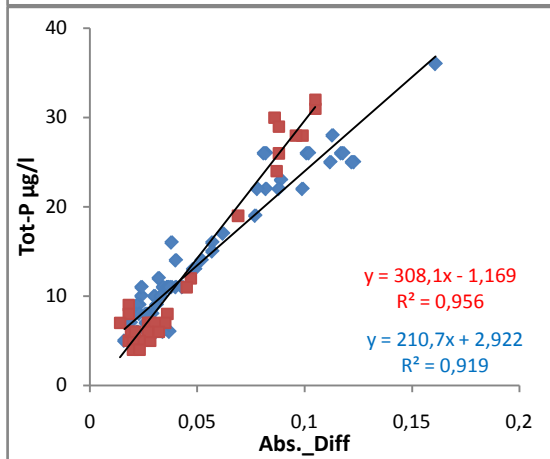
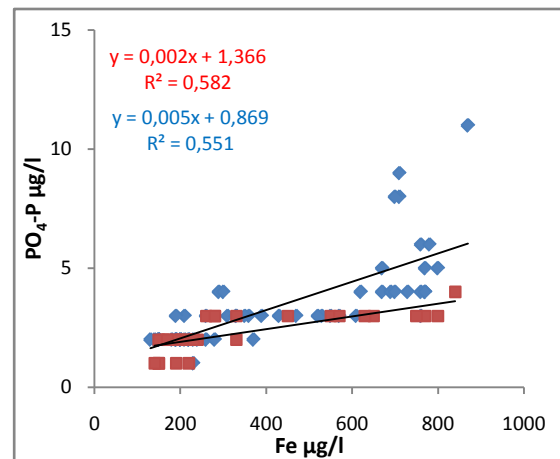
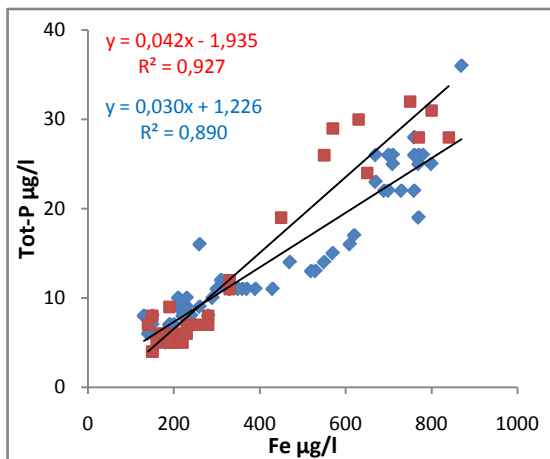


Figur 6. Linjära regressioner mellan vattenföring (Q m^3/s) och samtliga variabler under vårfloden 2008 (röd punkt och text) och 2009 (blå punkt och text) i Ume älv.

Figure 6. Figure 4. Linear regressions between discharge (Q m^3/s) and all variables during spring flood 2008 (red point and text) and 2009 (blue point and text) in Ume River.

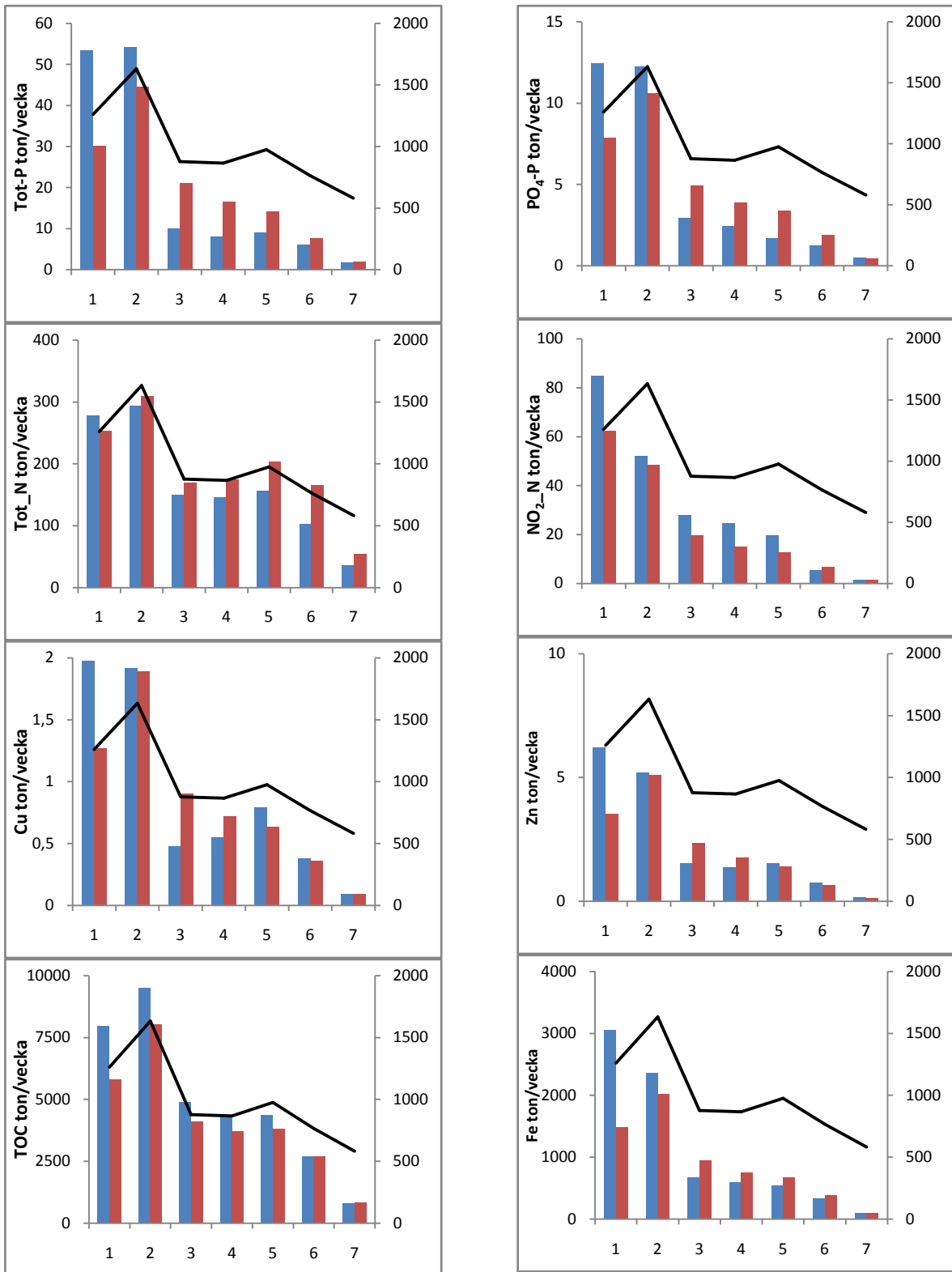


Figur 6. (Fortsättning)
Figure 6. (Continued)



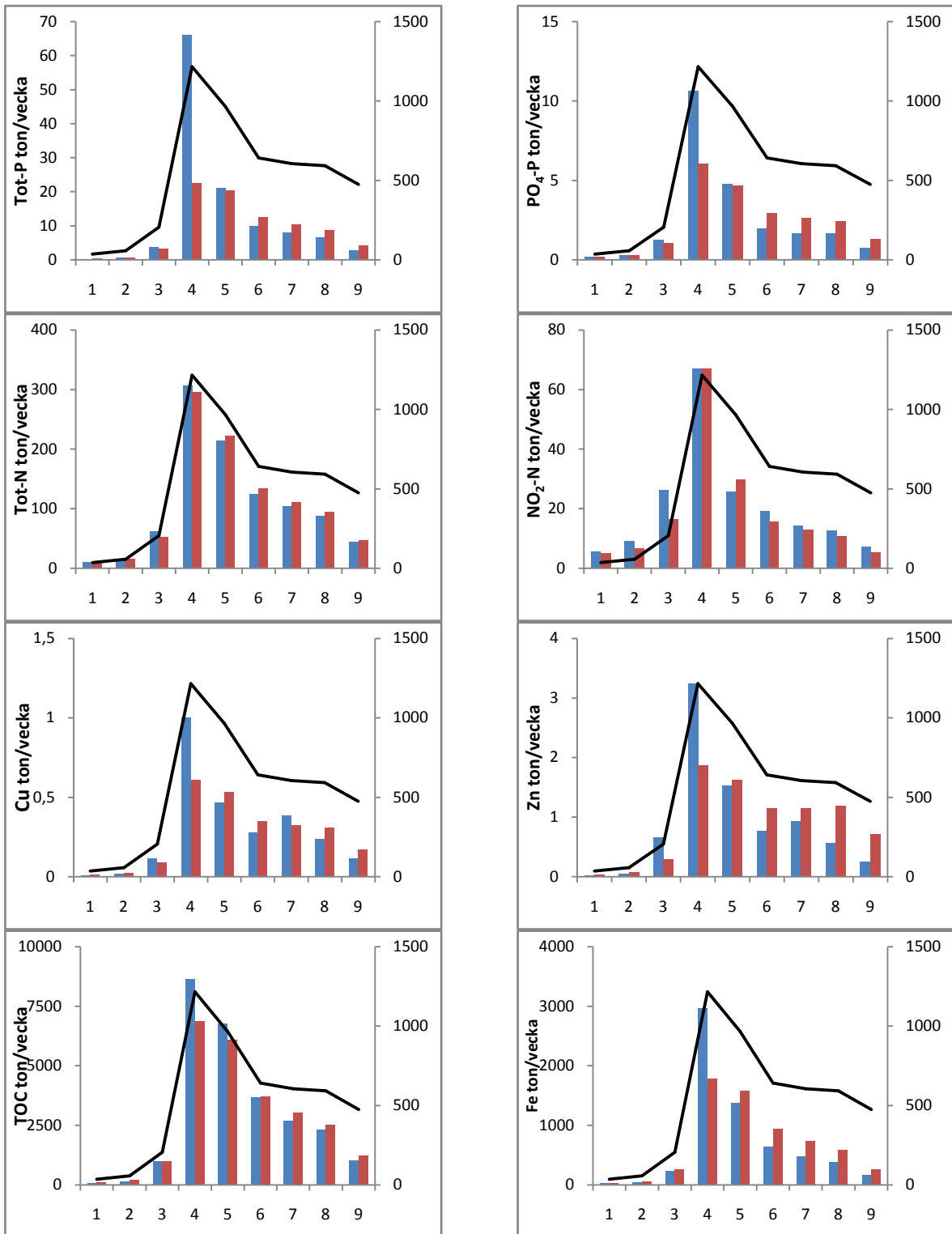
Figur 7. Linjära regressioner mellan Tot-P, PO₄-P mot Fe och Abs._Diff under vårfloden 2008 (röd punkt och text) och 2009 (blå punkt och text) i Ume älv älv.

Figure 7. Linear regressions between Tot-P, PO₄-P and Fe and Abs._Diff during spring flood 2008 (red point and text) and 2009 (blue point and text) in Ume River.

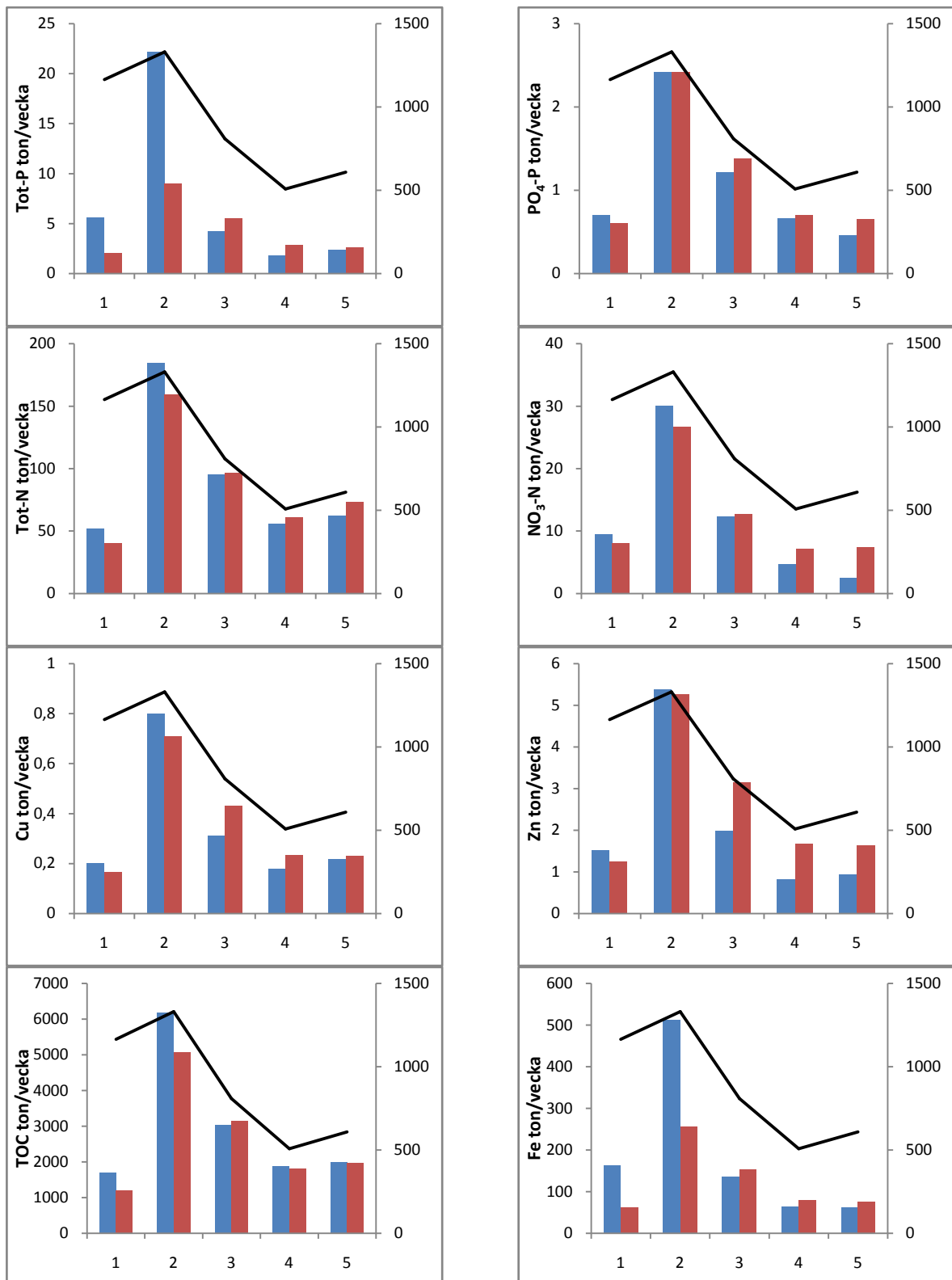


Figur 8. Veckoavrinning (m^3/s , höger y-axel) samt veckotransporter av Tot-P, PO_4 -P, Tot-N, NO_2+NO_3 -N, Cu, Zn, TOC och Fe från Kalix älv 2008. Blå stapel är resultat från dygnsprovtagning och röd stapel är resultat från månatlig provtagning. X-axel refererar till veckor. Vecka 7 endast beräknad för 3 dagar.

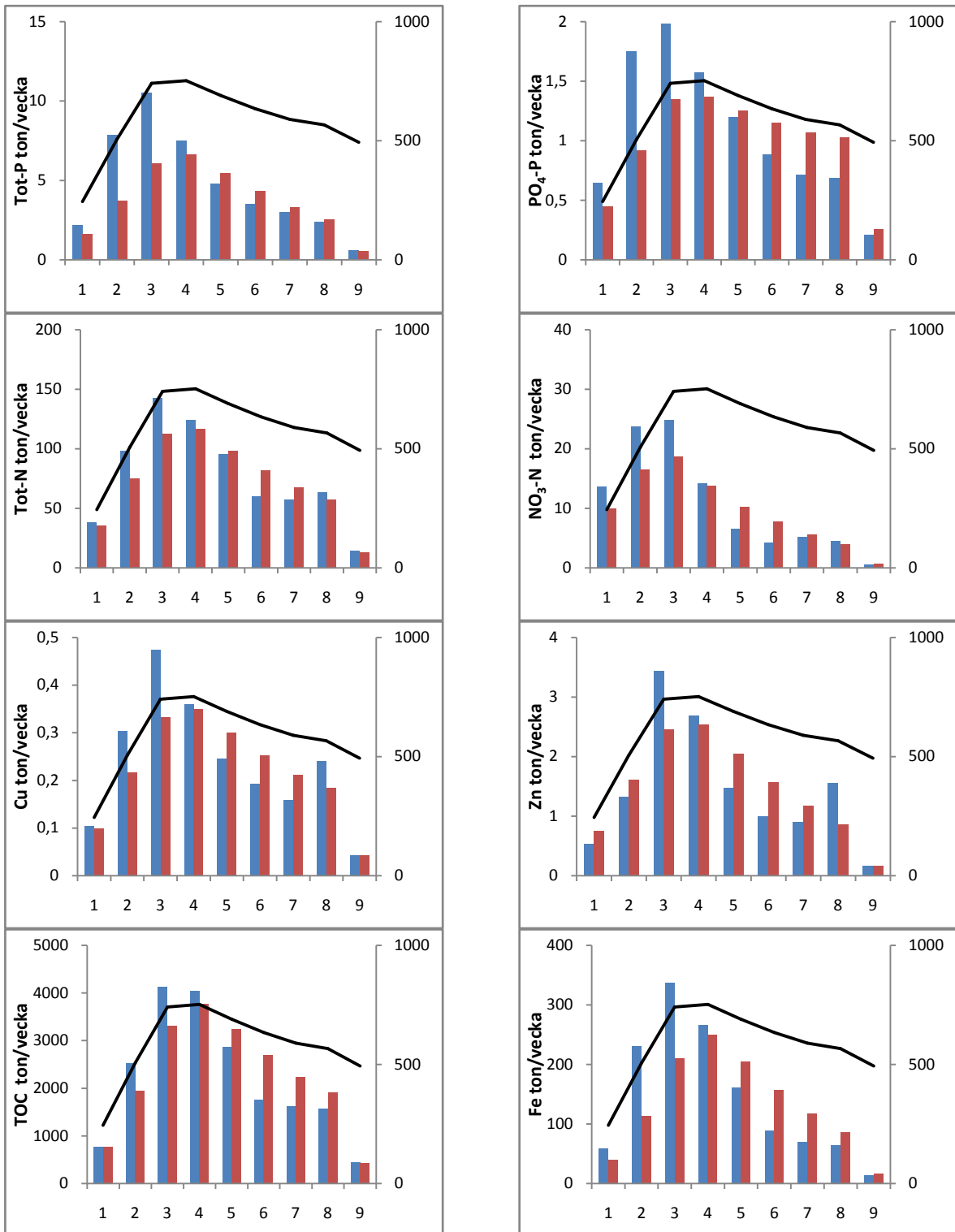
Figure 8. Weekly discharge (m^3/s , right y-axis) and weekly fluxes of Tot-P, PO_4 -P, Tot-N, NO_2+NO_3 -N, Cu, Zn, TOC and Fe from Kalix River 2008. The results from the daily sampling are shown on blue bars and the results from monthly sampling are shown on red bars. X-axis refers to weeks. Week 7 is only calculated for 3 days.



Figur 9. Veckoavrinning (m^3/s , höger y-axel) samt veckotransporter av Tot-P, PO_4 -P, Tot-N, NO_2+NO_3 -N, Cu, Zn, TOC och Fe från Kalix älv 2009. Blå stapel är resultat från dygnsprovtagning och röd stapel är resultat från månatlig provtagning. X-axel refererar till veckor. Vecka 1 och 9 endast beräknade för 5 dagar.
 Figure 9. Weekly discharge (m^3/s , right y-axis) and weekly fluxes of Tot-P, PO_4 -P, Tot-N, NO_2+NO_3 -N, Cu, Zn, TOC and Fe from Kalix River 2009. The results from the daily sampling are shown on blue bars and the results from monthly sampling are shown on red bars. X-axis refers to weeks. Week 1 and 9 are only calculated for 5 days.

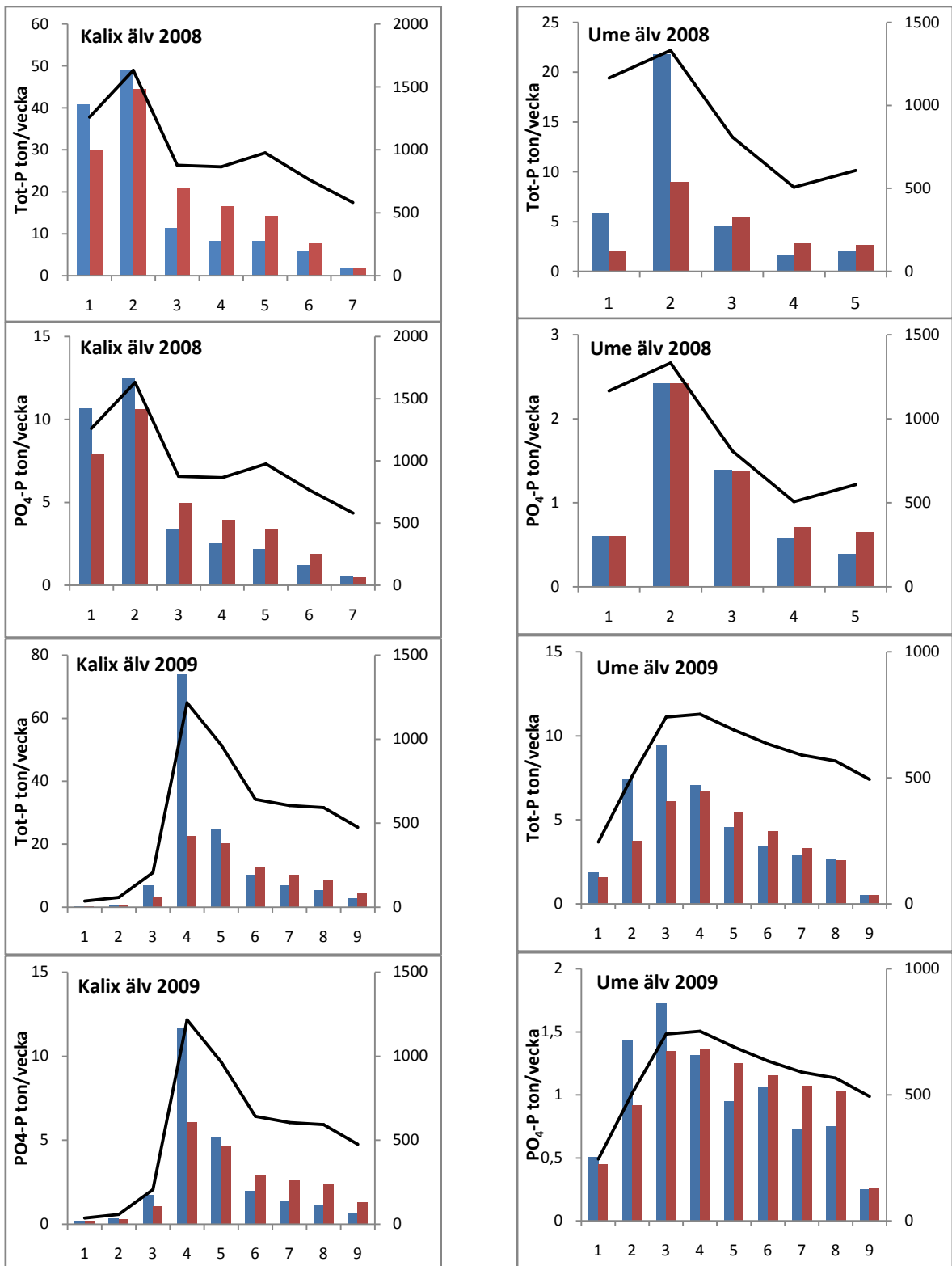


Figur 10. Veckoavrinning (m^3/s , höger y-axel) samt veckotransporter av Tot-P, PO_4 -P, Tot-N, NO_2+NO_3 -N, Cu, Zn, TOC och Fe från Ume älv 2008. Blå stapel är resultat från dygnsprovtagning och röd stapel är resultat från månatlig provtagning. X-axel refererar till veckor. Vecka 1 endast beräknad för 2 dagar.
 Figure 10. Weekly discharge (m^3/s , right y-axis) and weekly fluxes of Tot-P, PO_4 -P, Tot-N, NO_2+NO_3 -N, Cu, Zn, TOC and Fe from Ume River 2008. The results from the daily sampling are shown on blue bars and the results from monthly sampling are shown on red bars. X-axis refers to weeks. Week 1 is only calculated for 2 days.



Figur 11. Veckoavrinning (m^3/s , höger y-axel) samt transporter (veckovis) av Tot-P, PO_4 -P, Tot-N, NO_2+NO_3 -N, Cu, Zn, TOC och Fe från Ume älv 2009. Blå stapel är resultat från dygnsprovtagning och röd stapel är resultat från månatlig provtagning. X-axel refererar till veckor. Vecka 9 endast beräknad för 2 dagar.

Figure 11. Weekly discharge (m^3/s , right y-axis) and weekly fluxes of Tot-P, PO_4 -P, Tot-N, NO_2+NO_3 -N, Cu, Zn, TOC and Fe from Ume River 2009. The results from the daily sampling are shown on blue bars and the results from monthly sampling are shown on red bars. X-axis refers to weeks. Week 9 is only calculated for 2 days.



Figur 12. Veckoavrinning (m^3/s , höger y-axel) samt veckotransporter av Tot-P och PO_4 -P från Kalix och Ume älv 2008 och 2009. Blå stapel är resultat från veckoprovtagning och röd stapel är resultat från månatlig provtagning. X-axel refererar till veckor.

Figure 8. Weekly discharge (m^3/s , right y-axis) and weekly fluxes of Tot-P and PO_4 -P from Kalix and Ume River 2008 and 2009. The results from the weekly sampling are shown on blue bars and the results from monthly sampling are shown on red bars. X-axis refers to weeks.

Tabell 1. Transporterad mängd av samtliga variabler från Kalix och Ume älv under vårfloden 2008 och 2009. DP = beräknad från dygnsprovtagning, VP = beräknad veckoprovtagning och MP = beräknad från månadsprovtagning.

Table 1. Total fluxes of all variables from Kalix and Ume River during spring flood 2008 and 2009. DP = calculated from daily sampling, VP = calculated weekly sampling and MP = calculated from monthly sampling.

(ton)		Kalix älv		Ume älv	
		2008	2009	2008	2009
TOC	DP	34 487	26 357	14 772	19 727
	VP	34 691	26 515	14 730	19 533
	MP	28 989	24 797	13 197	20 307
Tot-P	DP	142	119	36	42
	VP	125	131	36	40
	MP	136	83	22	34
PO₄-P	DP	33	23	5,5	9,6
	VP	33	24	5,4	10,4
	MP	33	22	5,8	8,8
Tot-N	DP	1 162	968	450	694
	VP	1 140	965	449	665
	MP	1 328	983	430	657
NO₂+NO₃-N	DP	216	187	59	97
	VP	242	207	56	105
	MP	167	169	62	87
Fe	DP	7 634	6 338	935	1 291
	VP	7 040	6 737	954	1 265
	MP	6 360	6 234	626	1 196
Cu	DP	6,2	2,6	1,7	2,1
	VP	5,9	2,6	1,5	2,0
	MP	5,9	2,0	1,8	2,0
Zn	DP	20	8,0	11	13
	VP	16	8,2	10	12
	MP	15	8,1	13	13

Tabell 2. Avvikelse (%) i månadsprovtagning från dygnsprovtagning.

Table 2. Deviation (%) of monthly sampling from daily sampling

	Kalix älv		Ume älv	
	2008	2009	2008	2009
TOC	-16	-6	-11	3
Tot-P	-5	-30	-39	-19
PO₄-P	-1	-7	5	-8
Tot-N	14	2	-4	-5
NO₂+NO₃-N	-23	-9	5	-11
Fe	-17	-2	-33	-7
Cu	-5	-23	4	-6
Zn	-27	1	22	1

Tabell 3. Avvikelse (%) i månadsprovtagning från veckoprovtagning.

Table 3. Deviation (%) of monthly sampling from weekly sampling

	Kalix älv		Ume älv	
	2008	2009	2008	2009
TOC	-16	-6	-10	4
Tot-P	9	-37	-39	-14
PO₄-P	0	-11	7	-15
Tot-N	16	2	-4	-1
NO₂+NO₃-N	-31	-18	11	-17
Fe	-10	-7	-34	-5
Cu	-1	-24	16	1
Zn	-5	-1	30	7

Diskussion

Påverkan på vattenkemin på grund av ökat flöde i älvar

TOC spelar en viktig roll i många biogeokemiska processer i boreala ytvatten. Tidigare är det visat att löst organiskt material och suspenderade partiklar ökar i dessa vattendrag vid ökat flöde (bl.a. Forsgren och Jansson 1992, Kortelainen och Saukkonen 1992, Laudon et al. 2004). En av de mer påfallande effekterna av TOC i dessa system är dess starka påverkan på pH, speciellt under perioder av högt flöde (t.ex. Köhler et al. 2002, Laudon et al. 2001, Laudon och Bishop 2002). TOC påverkar även starkt transporten av metaller från marken till ytvatten pga. dess förmåga att bilda komplex (Tipping 1993). Således är en förväntad konsekvens av kraftiga vårflöden i de undersökta älvarna, Kalix och Ume älv, att koncentrationer av bl.a. organiskt material, näringsämnen och metaller ökar i vattendragen tillsammans med ökande halt av partikulärt material, vilket även kunde ses i figur 2 och 3. Orsaken till ökande TOC-halter vid vårflöden är ett resultat av att vattnet transporteras genom de övre jordlagren som är rika på organiskt material som sedan frigörs (Kortelainen och Saukkonen 1992, Laudon et al. 2004). En annan möjlig orsak till ökande TOC-halter vid ökat flöde är erosion vid strandkanten och suspenderat material från sedimentavlagringar i åbädden. Av de undersökta metallerna är samvariationen med TOC tydligare för Cu än Zn, eftersom koppar binds starkare till organiskt material, medan Zn är lättlösligare och mer pH-beroende (Adriano, 2001).

Under högvattenflöde kan fosfor transporteras bort i olika former från stora aggregat och organiska föreningar, ner till fina lerpartiklar och kolloider eller i helt löst form som ortofosfater (Ulén 2005). I både Kalix och Ume älv fanns ett signifikant samband mellan Tot-P och Abs._Diff (Fig. 5 och 7), vilket tyder på att en stor del av fosfor transporteras i partikulär form. I huvudsak tillförs fosfor via markläckage från både skog, myr och övrig mark, men det suspenderade materialet kan även delvis utgöra eroderat material från fosforrika, marina avlagringar i åbädden under högsta kustlinjen (Löfgren, 1992). Signifikanta samband kunde även ses mellan Tot-P, PO₄-P och Fe i båda flodmynningarna (Fig. 5 och 7), vilket tyder på att fosfor, både partikulärt och löst kan transporteras bundet till Fe. Fosfor kan antingen bilda komplex med partikulära Fe (III)oxyhydroxider eller transporteras tillsammans med Fe-kolloider (Forsgren och Jansson 1992, 1993).

Ämnestransportmängderna för samtliga variabler (Zn endast 2008) är större i Kalix älv än i Ume älv, vilket även följer vattenföringen som har en högre flödestopp än Ume älv (Tabell 1). Orsaken till den högre flödestoppen är att Kalix älv är oreglerad, medan Ume älv är reglerad och således har ett mer utjämnat flöde över hela året. I den oreglerade Kalix älven utgör ämnestransporten för samtliga variabler under vårfloden 2008 runt hälften eller mer av årstransporten (Tabell 4). Vid en jämförelse av de totala ämnestransportmängderna för hela år 2008 i Kalix och Ume älv ser man att transporten av TOC, N-fraktionerna och Cu är ungefär lika stor i båda älvarna, medan Zn är större i Ume älv och P-fraktionerna, samt Fe är dubbelt så stora respektive fyra gånger större i Kalix älv (Tabell 4). I en reglerad älv är uppehållstiden för vattnet mycket längre än i en oreglerad älv då vattnet samlas i de stora vattenmagasinen. Det innebär att olika naturliga kemiska och biologiska processer kan ske under längre tid i en reglerad och utbyggd älv än i en oreglerad. Vattenkemiskt medför detta att en stor del av det partikulära materialet stannar kvar uppströms i vattenmagasinen och sjunker ned på botten istället för att föras iväg med vattenflödet. Hos P-fraktionerna som i Ume älv har både betydligt lägre koncentrationer och transporterad mängd till havet betyder detta troligtvis att en stor del av den fosfor som mobiliseras under vårfloden och tillförs vattendragen transporteras bundet till partikulärt material och således sjunker ned till botten då vattnet bromsas upp och samlas i de stora vattenmagasinen uppströms älven. Den här retentionen av fosfor i sedimenten förefaller vara rätt så stabil eftersom årstransporten av fosfor är betydligt lägre i Ume

älv än i Kalix. Koncentrationen och den transporterade mängden Fe är betydligt mindre i Ume älv än i Kalix äv. Orsaken till detta är delvis samma som för fosfor, dvs. att Fe, som till en stor del förekommer som partikulära Fe (III)oxyhydroxider eller Fe-kolloider sedimenteras då vattnet ansamlas i de stora vattenmagasinen uppströms älven. Järn är även ett redox-känsligt ämne, vilket i det här fallet kan ha betydelse och kan orsaka en frisättning av järn och därtill bunden fosfor vid förhållanden med låga syrgashalter. Samma mönster som hos fosfor och Fe kan delvis även ses hos Cu, som har något lägre årstransport i Ume älv än i Kalix och även här är en utfällning och retention möjlig. De andra ämnena faller inte ut lika lätt utan transporten ut till havet sker troligtvis i en mer jämn ström under hela året.

Tabell 4. Jämförelse av Kalix och Ume älvs transportmängder för samtliga variabler under 2008 samt under vårflo den 2008 (dygnsmätning) med totalbelastning för år 2008 för Bottenviken, Bottenhavet och hela Sverige.

Table 4. Annual fluxes 2008 and fluxes during spring flood 2008 (daily sampling) of all variables in Kalix and Ume River compared to total load for 2008 to the Bothnian Bay, the Bothnian Sea and Sweden.

		Kalix älv		Ume älv		Botten- viken	Botten- havet	Sverige
		2008	Vårflod	2008	Vårflod			
TOC	ton	69 743	34 487	64 701	14 772	407 299	506 698	1 494 908
Tot-P	ton	221	142	112	36	957	741	3 386
PO₄-P	ton	63	33	27	5,5	277	200	1 176
Tot-N	ton	2 774	1 162	2 575	450	14 451	22 097	99 814
NO₃+NO₂-N	ton	636	216	536	59	2 056	6 256	47 166
Fe	ton	14 376	7 634	3 416	935	52 866	20 908	110 329
Cu	ton	11	6,2	8,0	1,7	89	62,4	267
Zn	ton	31	20	50	11	338	306	954
Areal	km ²	23 845		26 567		130 951	179 713	472 819

Jämförelse mellan dygnsprovtagning, veckoprovtagning och månadsprovtagning – effekter på belastningsberäkningarnas kvalitet

Resultaten från de båda beräkningssätten, där belastningsberäkningar uträknade från månadsprovtagning har jämförts med belastningsberäkningar uträknade från dygnsprovtagning, visar att månadsprovtagningen i de flesta fall underskattar ämnestransportmängden ut till havet. Dock är underskattningen relativt liten och varierande hos de flesta variabler förutom hos Tot-P och Fe där avvikelserna (underskattningen) är upp till 39 % respektive 33 % i Ume älv (Tabell 2). Samtidigt kunde man se i jämförelsen av veckotransporter att ämnestransportmängder som beräknats från månatlig provtagning uppvisar en lägre mängd innan flödestoppen inträffar och överskattar mängden efter flödestoppen under de två studerade åren, där underskattningen ändå är större överlag. Den största orsaken till både underskattningen och den stora variationen mellan de två undersökta åren är att den månatliga provtagningen inte är flödesstyrd utan sker i mitten på varje månad, vilket gör att det är svårt att fånga in flödestoppen från år till år och istället blir det slumpen som avgör i vilket skede av vårflo den som provtagningen sker. Resultatet från provtagningen ligger sedan till grund för belastningsberäkningen till havet som beräknas med hjälp av linjär interpolering mellan de olika provtagningstillfällena. Vårfloden från skogslandskapet håller på ca en månad från början till slut, vilket gör att den i sämsta fall i stort sett obemärkt kan passera förbi mellan två månadsprovtagningar. I en naturlig oreglerad älv kan detta ha stora skillnader i beräkning av den totala årstransporten för en del variabler, främst organiskt material,

fosfor och metaller då närmare hälften av den årliga transportmängden till havet transporteras under vårfloden (Tabell 4). I reglerade älvar såsom i Ume älv är effekterna troligtvis inte lika stora då andelen transporterat material under vårfloden är mindre pga. utjämnat flöde under hela året, samt att en del material hinner sedimentera i vattenmagasinen (Tabell 4). Orsaken till den stora avvikelser i främst Ume älv hos Tot-P och Fe är ännu inte helt klarlagd, men ser man i absoluta tal och jämför med totalbelastning till Bottenhavet, där Ume älv mynnar ut så utgör Ume älvs vårflodsbelastning av Tot-P och Fe endast 4,9 % respektive 4,5 % av den totala belastningen (exklusive direktutsläpp från punktkällor). En annan aspekt är biotillgängligheten av fosfor – vilken P-fraktion är mest biotillgänglig? Löst fosfor och fosfat har en hög biotillgänglighet, medan partikelbunden fosfor har betydligt lägre biotillgänglighet i vattenkosystemen (Uusitalo 2004, Bergström et al. 2007). Det här betyder sannolikt att fosfor som transporteras under vårfloden inte är speciellt biotillgänglig då den till största delen transporteras i partikulär form.

Vid jämförelse av veckoprovtagningen med månadsprovtagningen var resultatet ungefär lika eller i några fall sämre än samma jämförelse med dygnsprovtagningen. Detta betyder att en veckoprovtagning under vårflödet inte alltid ger ett tillförlitligare resultat än en månadsprovtagning. Detta bekräftar åter igen att slumpen till stor del avgör i vilket skede av vårfloden som provtagningen sker.

I en tidigare undersökning av Ekholm et al. (1995) utvärderades nordiska älvars ämnestransporter och beräkningar, samt vattenkemiprovtagningsarnas antal och tidpunkt. Då uppställdes en målnivå där de årliga ämnesflödesuppskattningarnas fel och spridning skulle vara $\leq 10\%$. Det resulterade i att de stora reglerade älvarna behövde i allmänhet 12 tidstyrt tagna prov för att målnivån inte skulle överskridas (Ekholm et al. 1995). I Kalix och Ume älv är avvikelser i månadsprovtagningen jämfört med dygnsprovtagningen i över hälften av mätningar $\leq 10\%$ (Tabell 2). En flödesstyrd provtagning i den oreglerade Kalix älven skulle troligtvis förbättra precisionen marginellt och även förbättra belastningsuppskattningarna till havet, samtidigt som ett utökad provtagningsintervall troligtvis anses onödig.

Slutsatser

Syftet med den här studien har varit att granska hur en utökad provtagningsfrekvens påverkar belastningsberäkningarnas kvalitet i två norrländska älvar. Resultaten visar att månadsprovtagningar i de flesta fall underskattar ämnestransportmängden ut till havet. Dock är underskattningen relativt liten och varierande hos de flesta variabler under de två undersökta åren. Den största avvikelsern hittas hos Fe och Tot-P där månadsprovtagningarna underskattar ämnestransporten med 33 % respektive 39 % i Ume älv under 2008. Samtidigt så utgör mängden transporterat P och Fe under vårfloden i den reglerade Ume älven endast ungefär en tredjedel av den sammanlagda årstransporten, medan de i den oreglerade Kalix älv utgör nästan två tredjedelar av årstransporten. Den totala mängd P och Fe som transporteras ut till havet från Kalix älv är dessutom dubbelt respektive fyra gånger större än transporten från Ume älv fast avrinningsområdena är i samma storleksklass. Den största orsaken till detta är att Kalix älv är oreglerad och har ett kraftigt vårflöde. Den kraftiga vårfloden för med sig stora mängder av organiskt material och suspenderade partiklar både från strandkanten och genom snösmältningen inåt land. Dessa partiklar binder till sig både näringsämnen och metaller som sedan förs iväg nedströms. I en tidsstyrd månadsmätning i en oreglerad älv som Kalix älv kan man i värsta fall obemärkt undgå en vårflod, som ungefär håller på en månad, vilket gör att man i så fall kommer att underskatta årstransporten för främst organiskt material, fosfor och metaller det året, då närmare hälften av den årliga transportmängden till havet transporteras under vårfloden.

I Norrland finns endast fyra oreglerade älvar kvar - Torne älv, Kalix älv, Pite älv och Vindelälven där Vindelälven ansluter sig till Ume älv nära mynningen. En flödesstyrd provtagning i de oreglerade norrländska älvarna kan kanske förbättra precisionen något, medan det månatliga provtagningsintervallet förefaller vara tillräckligt för de flesta ämnena. Då reglerade älvar har ett jämnt flöde över året och därmed en jämnare ämnestransport är troligtvis 12 tidsstyrda provtagningar tillräckliga. Ett alternativ till flödesstyrd provtagning/-mätning kan vara att intensifiera provtagningarna genom att t.ex. ta prover veckovis under perioden då vårflödet antas vara störst. Detta skulle kunna inskränkas till att endast omfatta de oreglerade älvarna (i detta fall exklusive Vindelälven som ju ingår i Ume älvs flodmynningsstation) eller till samtliga norrländsälvar med ett tydligt vårflöde. Men beräkningar av veckoprovtagningen i den här studien gav inte nämnvärt bättre resultat än månadsprovtagningen och i så fall bör denna metod undersökas bättre. Detta förfarande är dock mindre lämpligt för vattendragen i den södra delen av landet där vårflödena både är mer varierande i omfattning och tidpunkt.

Referenser

- Adriano D.C. 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments; Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. 2nd edition, Springer-Verlag
- Bergström L., Djodjic F., Kirchmann H., Nilsson I. och Ulén B. 2007. Fosfor från Jordbruksmark till Vatten - tillstånd, flöden och motåtgärder i ett nordiskt perspektiv. SLU, Rapport MAT 21 nr 2.
- Ekholm P., Kronvang B., Posch M. and Rekolainen S. 1995. Accuracy and precision of annual nutrient load estimates in Nordic rivers. Vatten och miljöförvaltningens publikationer, serie A 205, Vatten och Miljöstyrelsen, Helsingfors, Finland.
- Forsgren G. och Jansson M. 1992. The turnover of river-transported iron, phosphorus and organic carbon in the Öre estuary, northern Sweden. *Hydrobiologia* 235/236: 585-596.
- Kortelainen P. och Saukkonen S. 1992. Leaching of organic carbon and nitrogen from peatland dominated catchments. *Mires and Peat* 43: 221-225.
- Köhler S., Hruska J., Jonsson J., Lövgren L. och Lofts S. 2002. Evaluation of different approaches to quantify strong organic acidity and acid-base buffering of organic-rich surface waters in Sweden. *Water Res.* 36: 4487-4496.
- Laudon H., Köhler S. och Buffam I. 2004. Seasonal TOC export from seven boreal catchments in northern Sweden. *Aquat. Sci.* 66: 223-230.
- Laudon H. och Bishop K. 2002. Episodic stream water decline during autumn storms following a summer drought. *Hydrol. Proc.* 16: 1725-1733.
- Laudon H., Westling O., Löfgren S. och Bishop K., 2001. Modeling preindustrial ANC and pH during the spring flood in northern Sweden. *Biogeochemistry* 54: 17-195.
- Löfgren, S. 1992. Samordnad vattendragskontroll i Norrbottens län – vattenkvalitet och ämnestransport 1965-90, samt förslag till ändring av kontrollprogram. Länsstyrelsen i Norrbottens län, Rapportserie nr 2.
- Sonesten L. 2009. Förbättrade belastningsberäkningar till de internationella rapporteringarna Eurowaternet-Marine data, Ospar Rid och Plc Annual – Genomgång av dagens beräkningar och jämförelser med recipientkontrolldata och PLC5-data, samt förslag till förbättringar av beräkningar av närsaltsbelastningen. SMED Leveransrapport januari 2009.
- Tipping E., 1993. Modeling the competition between alkaline-earth cations and trace-metals species for binding by humic substances. *Environ.Sci. Technol.* 27: 520-529.
- Ulén B. (Red.) 2005. Fosforförluster från mark till vatten. Naturvårdsverket, Rapport 5507.
- Uusitalo R. 2004. Potential bioavailability of particulate phosphorus in runoff from arable clayey soils. Doctoral Dissertation, Agrifood Research Reports 53, MTT Agrifood Research.
- Väder och Vatten 2008-2009, SMHI