

Upplägg av presentation

- Projektupplägg
- Mätprogram
- Trender i ämneskoncentrationer längs Luleälven
- Modellering av trender
- Temporala variationer av ämneskoncentrationer i Luleälven vid Boden
- Slutsatser

Organisation

Projektledare:

Doc. Anders Wörman
Institutionen för geovetenskaper
Uppsala universitet

Ansvarig för mätprogram:

Prof. Björn Öhlander
Avdelningen för tillämpad geologi
Luleå tekniska högskola

Doktorander:

Karin Jonsson, Uppsala universitet
Lisbeth Drugge, Luleå tekniska högskola
Magali Collomp, Utbytesstudent (Luleå)

Övriga forskare/konsulter:

Allan Rodhe, Uppsala universitet
Anders Widerlund, Luleå tekniska högskola
James Yang, Vattenfall Utveckling
Björn Svensson, SwedPower

Kvalitativa miljöeffekter av vattenkraftutbyggnad i Luleälven

Hydrologiska effekter

- a) årstidsvariationerna av vattenflödet har utjämnats
- b) nya vattenmagasin skapas

Förändring av lösta ämnen och organiskt material

- överdämning ger temporärt ökad koldioxidavgång
- på sikt övergår vattenkemin i vattenmagasin till den naturliga sjöns
- lägre total transport av partikulärt material till Östersjön
- ökad accumulering av organiskt material (deposition/retention)
- förändrade hydrologiska och geokemiska förhållandena ger effekter på de lokala ämnescyklerna och älvtransporten av näringsämnen, metaller, organiskt material, m.m..

[Forts: Kvalitativa miljöeffekter...]

Förändring av temperaturfördelning

- Från skiktade vattenmagasin beror det utgående vattnets temperatur på intagets nivå

Lokala effekter på ekosystem

- minskat fiskbestånd

Övergripande mål

Utveckla den kvantitativa förståelsen för vattenkraftens effekt på transporten av metaller och närsalter i Luleälven.

Specifika mål

- Två stycken teknologie doktorsexamina
- En databas som beskriver ämnestransporten och vattenflöde under ett år i flera sektioner av Luleälven
- Transporten i några typiska (m.h.t. avrinningsområdets karakteristika) tillflöden bestäms också under ett år.
- Massbalansen för olika ämnen kommer att analyseras för de två undersökta delsträckor och vattenmagasin. Härav kan uppskattningar göras av den "effektiva" retentionen.
- En endimensionell modell kommer att utvecklas för ämnestransporten i Luleälven inklusive viktiga vattenmagasin. Avrinningsområdets hydrologi och geokemi kommer att infogas.
- Hydrauliska beräkningar kommer att göras för att bestämma sambandet mellan reglering och vattenstånd i grundvattenmagasin och biflöden.

Doktorandprojekten en del i forskningsprogram kring Transportprocesser i vattendrag

- 5 årigt åtagande
- Finansiering även från Vetenskapsrådet, Uppsala universitet, SLU, LuTH

Publikationer

"Effect of Flow-Induced Exchange in Hyporheic Zones on Longitudinal Transport of Solutes in Streams and Rivers" Wörman, A., Packman, A., Jonsson, K., Johansson, H., Water Resources Research, 2002, 38(1), 2:1-15.

“Comparison of the geochemistry of the regulated LuleRiver and the Unregulated kalix River, Northern Sweden.”, Licentiate thesis of Mgali Colomp, Luleå University of Technology, 2001:60.

"Hyporheic Exchange of Reactive and Conservative Solutes in Streams – Tracer Methodology and Model Interpretation", Karin Jonsson, Håkan Johansson, Anders Wörman. **In press**: Journal of Hydrology.

"Comparison of Hyporheic Exchange in Vegetated and Unvegetated Reaches of a Small Agricultural Stream in Sweden: Seasonal Variation and Anthropogenic Manipulation", Masfiqu Salehin, Aaron Packman and Anders Wörman, **In press**: Advances in Water Research.

“Sorption Behaviour and Long-term Retention of Reactive Solutes in the Hyporheic Zone of Streams“, Karin Jonsson, Håkan Johansson and Anders Wörman. **In press**: Journal of Environmental Engineering.

"Tailings dam failure in Aitik, Northern Sweden: A discussion on release, transport and retention in the Kalix River system". Magali Collomp, Anders Wörman, Björn Öhlander, Johan Ingri and Manfred Lindvall, Manuscript.

“Impact of hyporheic exchange on solute transport in a highly hydropower-regulated river”, Karin Jonsson, Anders Wörman, Lisbeth Drugge och Björn Öhlander. Manuscript.

Avhandlingar

- Magali Colomp, Licentiatexamen vid LuTH, September 2001.
- Lisbeth Drugge, Licavhandling planerad LuTH.
- Karin Jonsson, Licentiatavhandling vid UU, Maj 2001.
- Karin Jonsson, Disputation planerad vid UU den 3:e Oktober 2003.

Mätprogram som gör det möjligt att bestämma aktuella uppehållstider

- Vattenprovtagning vid olika stationer längs älven en gång per månad eller oftare
- Sektioner som avgränsar magasin (Stora Lulevatten, Seitevare, Tjakjajaure)
- Provtagning av biflöden

Vattendata

- ICP-AES/ICP-MS ger totalhalter av

Metaller: Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Cd, Si, Mg, Na, Ba, Mo, Ni och Sr

Andra ämnen: Ca, S, C, P och N

- In-situ mätningar med vattensond:

Temperatur, pH, konduktivitet, ORP (redox), DO och TDS

- Andra vattenkvaliteparametrar:

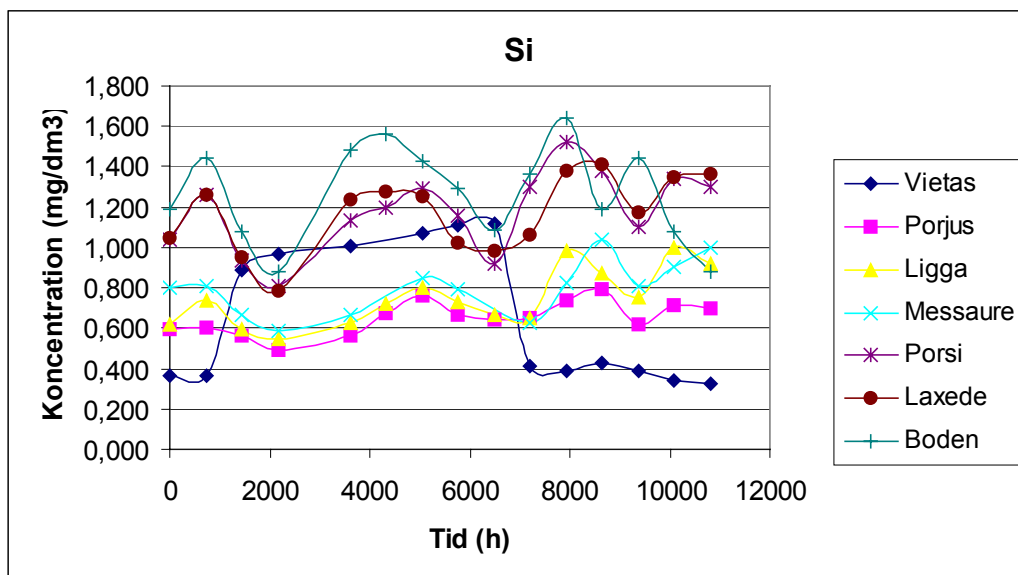
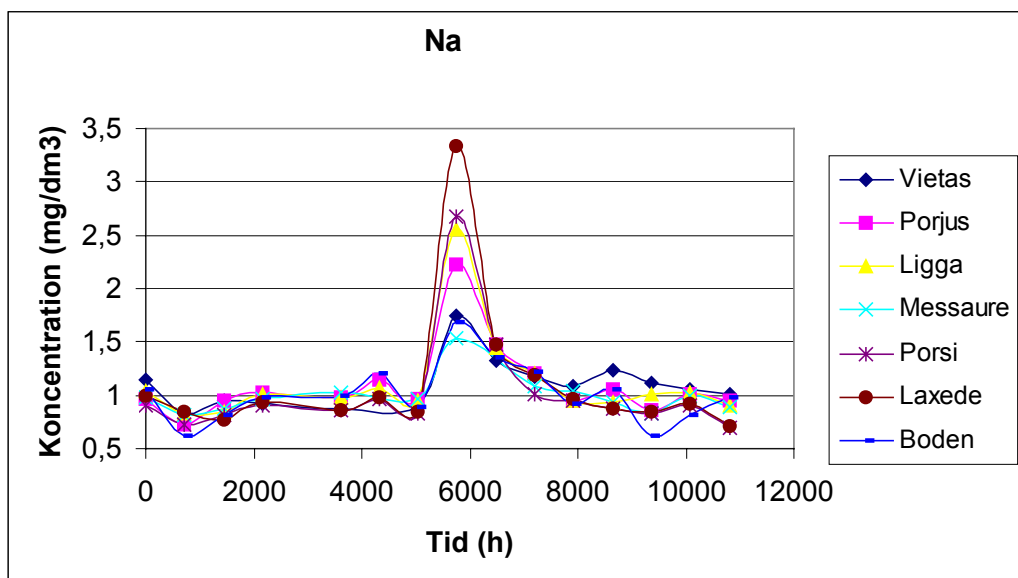
TSM, TOC and POC.

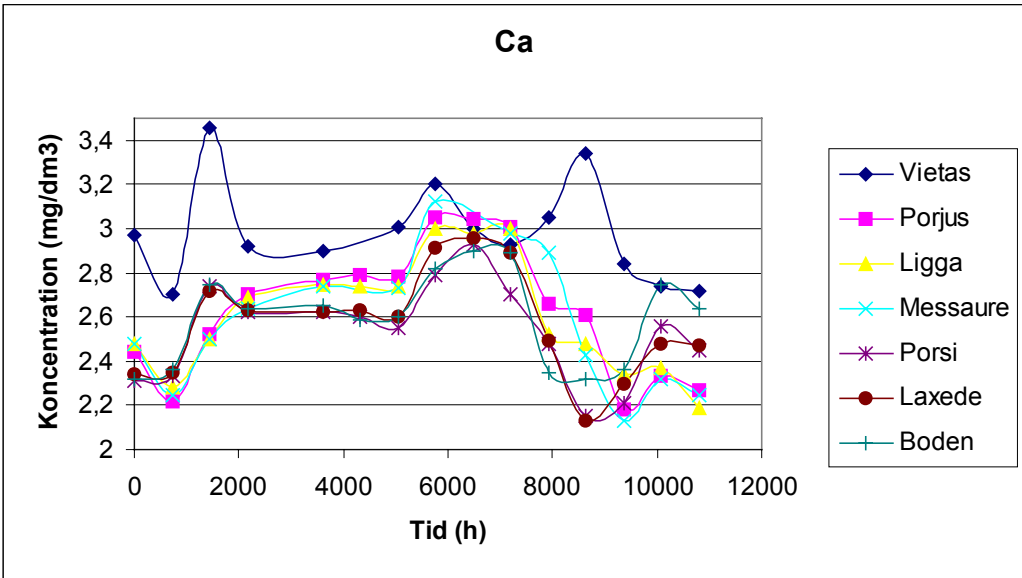
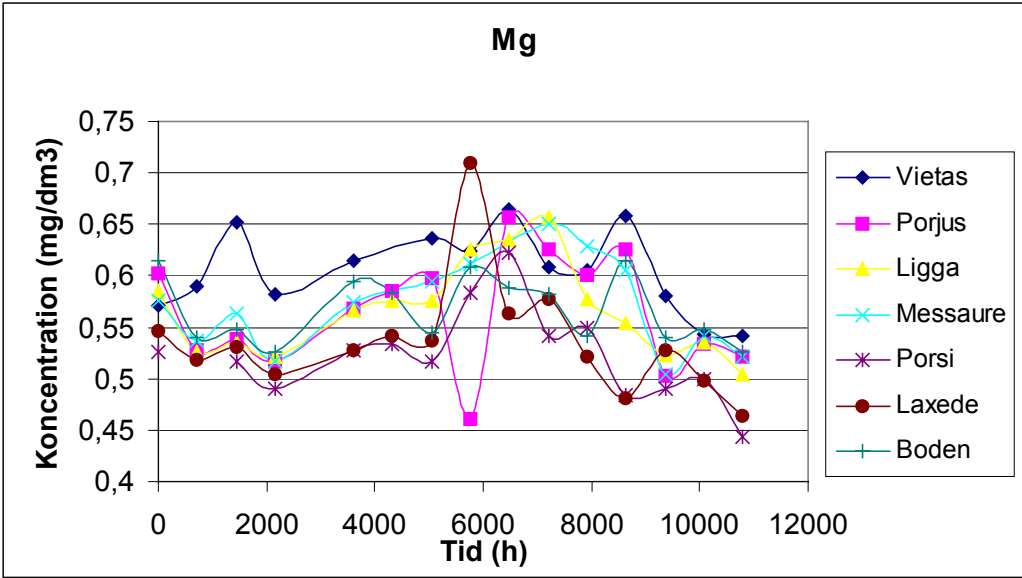
Provtagningsplatser

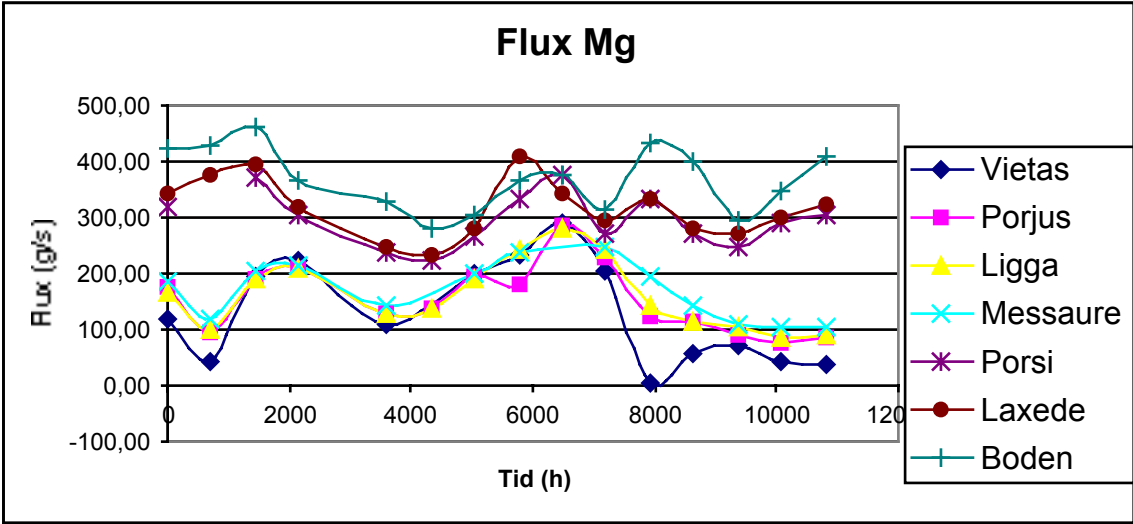
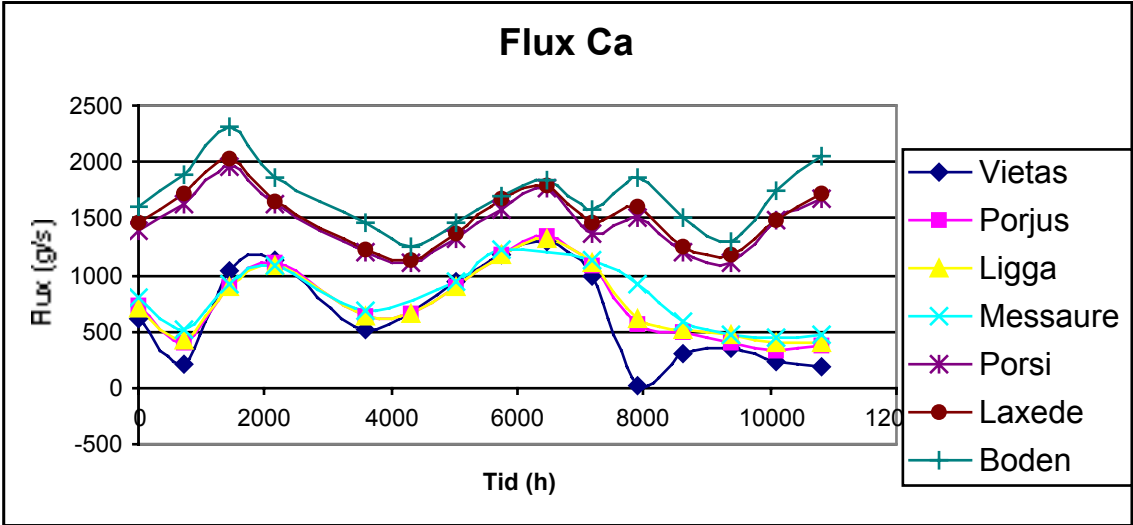


Trender längs Luleälven

t=0 motsvarar juni 2000

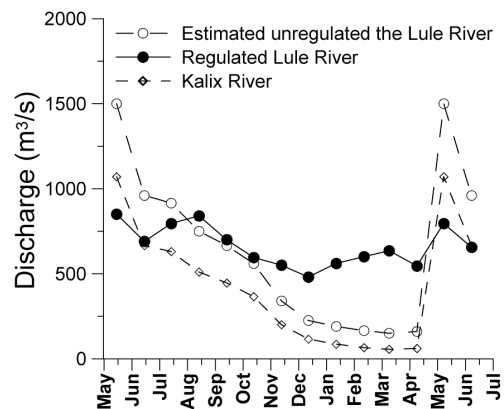
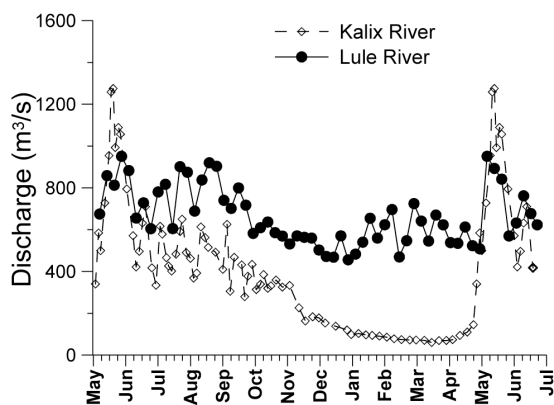




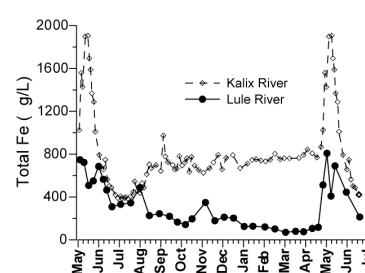
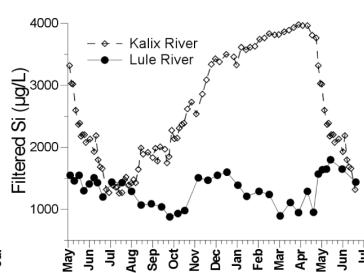
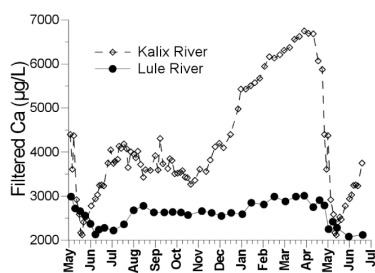


Comparison between Unregulated Kalix River and Lule River

Discharge

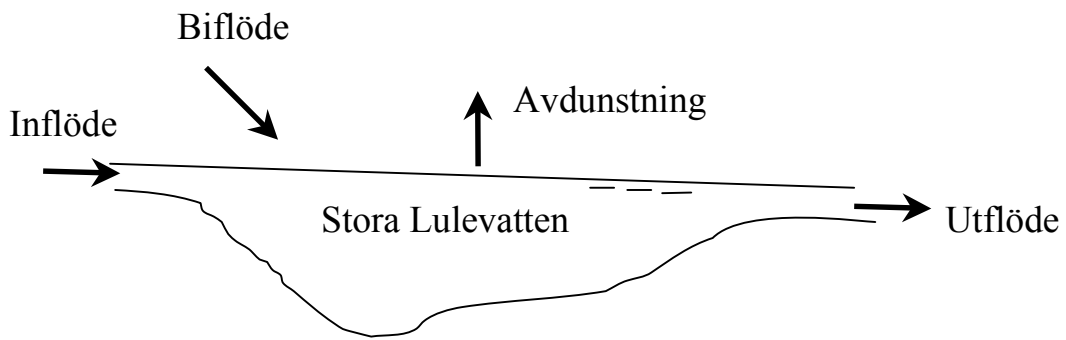


Ca, Si and Fe

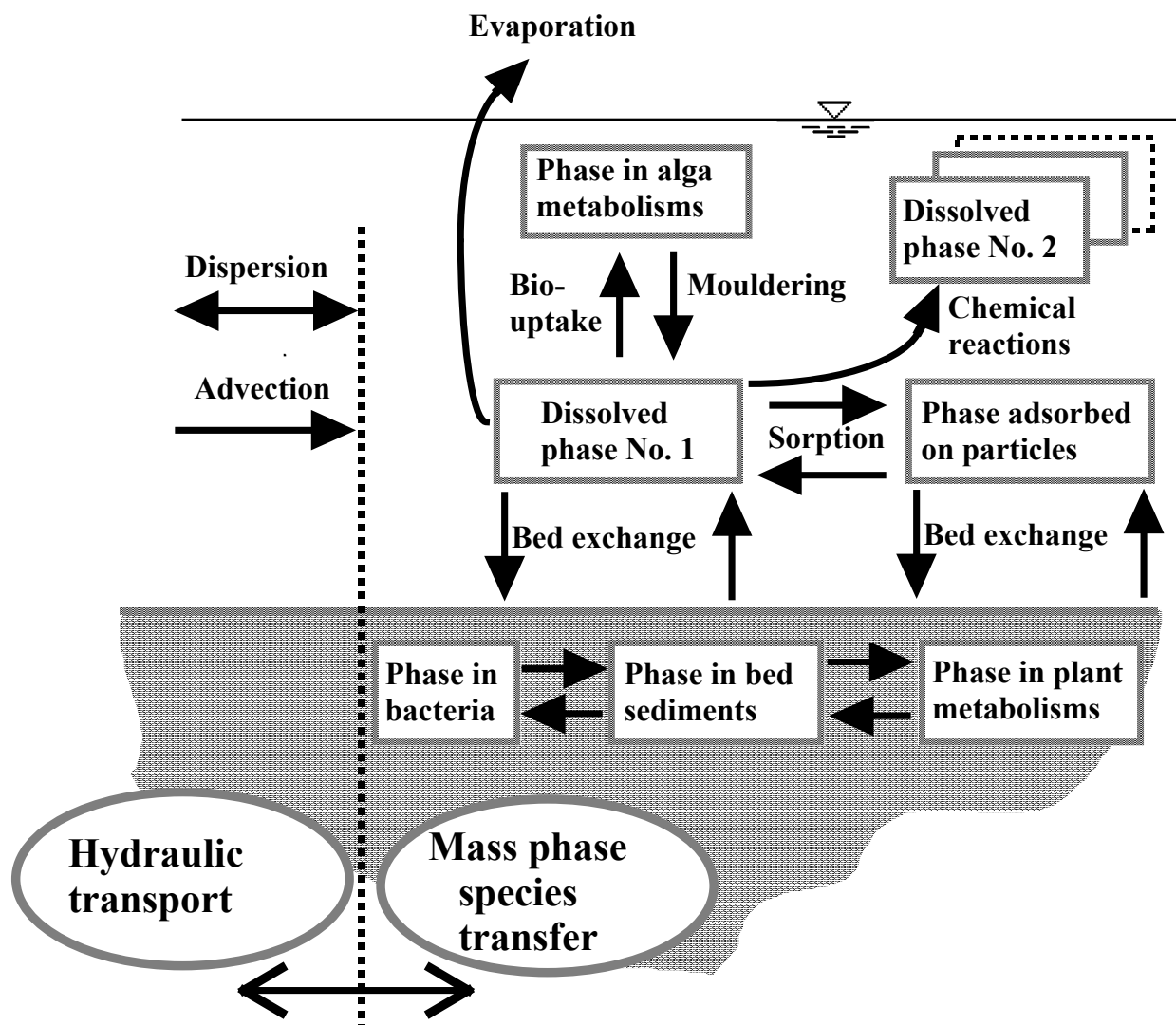


- Regulation acts for a uniform transport of solute elements over the year

Nettoretention i Stora Lulevatten



Hydrauliska och kemiska mekanismer



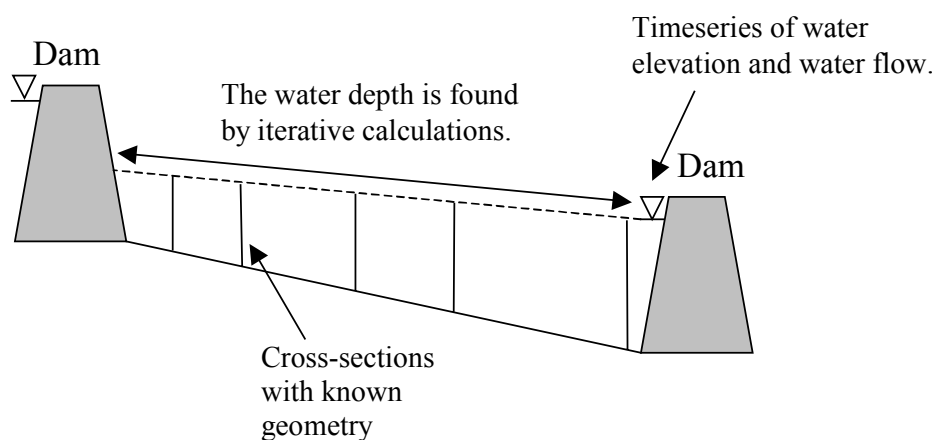
Hydrauliska beräkningar

Icke-stationär strömning

Flodvågsberäkningar i en dimension med hjälp av Dambrk

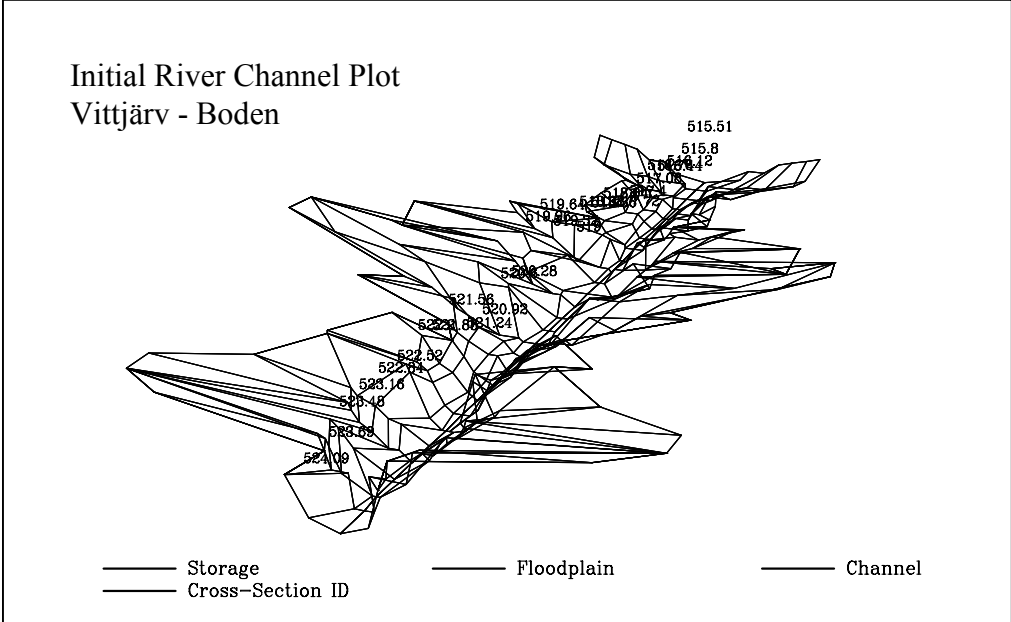
Kvasistationär strömning

- Allmänna stegmetoden i matlab-program



$$Q = UA = \frac{R_h^{\frac{2}{3}} S_b^{\frac{1}{2}}}{n} A$$

Geometridata, kraftverksdata m.m. inhämtat från Vattenfall.



Dambrk bygger på följande ekvationer:

Masskonservering:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial t} s(A + A_0) - q = 0$$

Rörelseekvationen:

$$\frac{\partial}{\partial t} (sQ) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta \frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e + S_i \right) + L' = 0$$

där

h = the water surface elevation

A = the active cross-sectional area of flow

A_0 = the inactive (off-channel storage) cross-sectional area

s = the sinuosity factor after DeLong (1986) which varies with h

x = the longitudinal distance along the channel (valley)

t = the time

q = the lateral inflow or outflow per lineal distance along the channel (inflow is positive and outflow is negative in sign)

β = the momentum coefficient for velocity distribution

g = the acceleration due to gravity

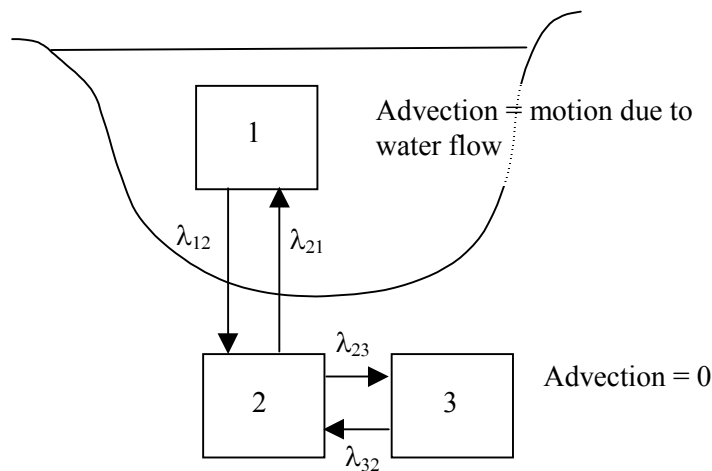
S_f = the boundary friction slope

S_e = the expansion-contraction slope

S_i = the additional friction slope associated with internal viscous dissipation of non-Newtonian fluids such as mud/debris flows

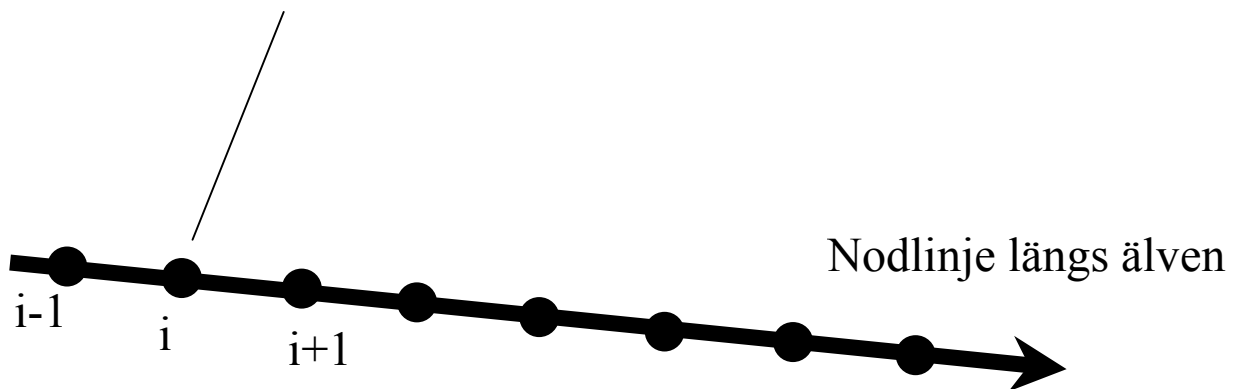
L' – the momentum effect of lateral flow assumed herein to enter or exit perpendicular to the direction of the main flow.

Ett Matlab-program som kan lösa generella problem med ämnestransporter



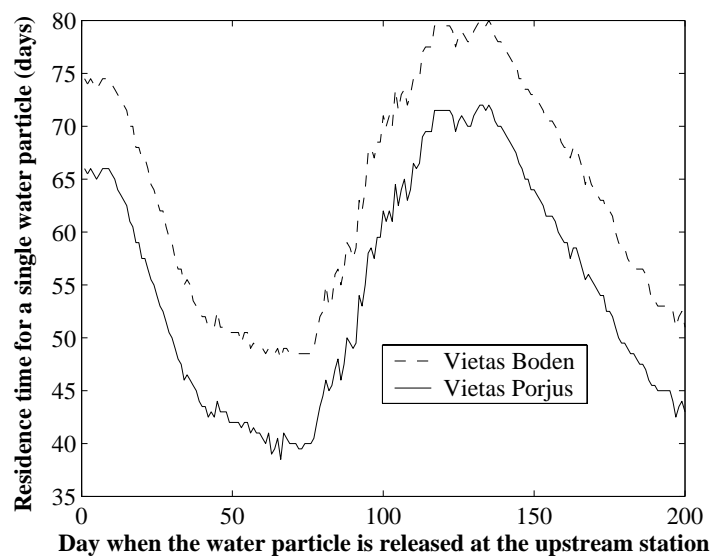
Ekvationssystem i varje nodpunkt:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\phi}{A} \frac{\partial A}{\partial t} + S\phi + \frac{1}{A} \frac{\partial(UA\phi)}{\partial x} - E \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = S_q$$



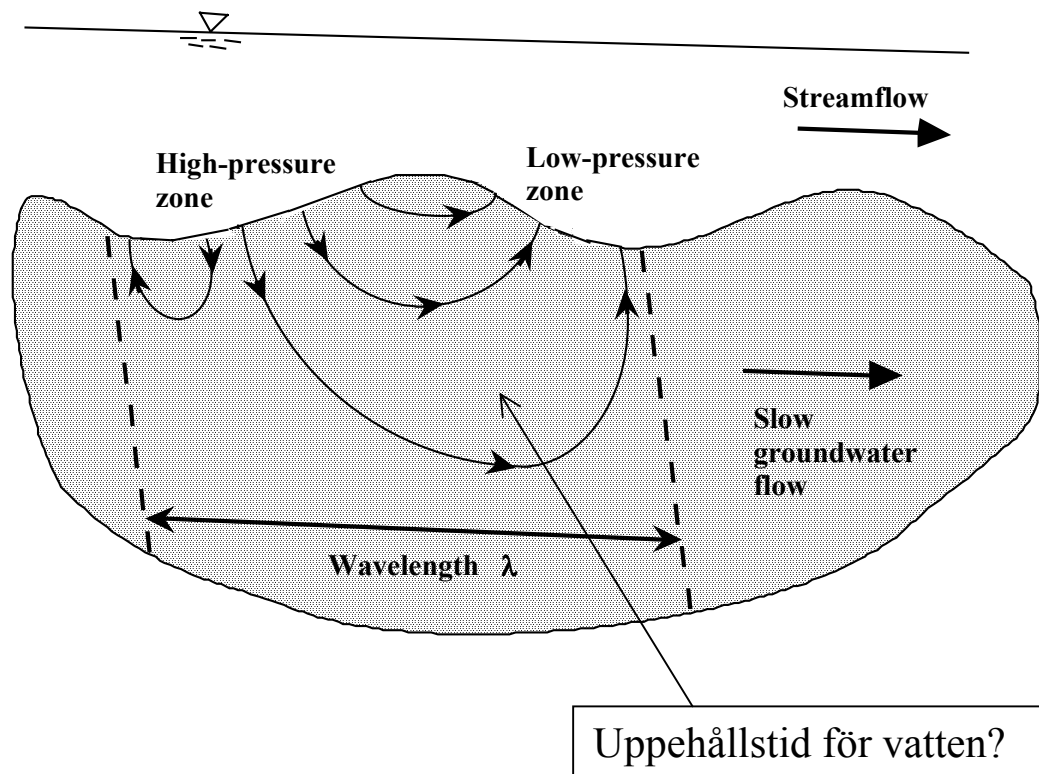
Example: simulated water residence times between Vietas and Boden

- Inert flow pulse (no dispersion, no hyporheic zone exchange)
- Hydrological data from 20th of June 2000 and onwards



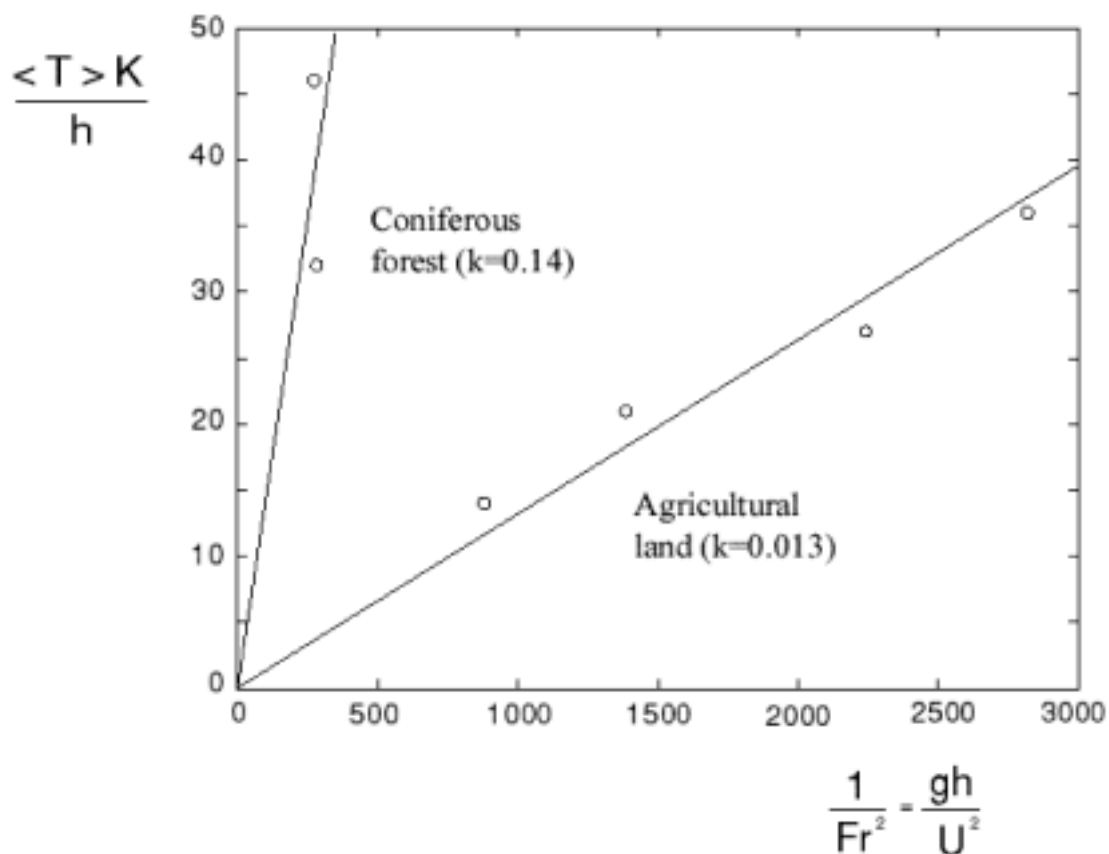
Retention i hyporeiska zonen – Inverkan av regleringsförhållanden

- Utbyte av partikulärt material (deposition och resuspension)
- Löst utbyte



Principstudier av det lösta utbytet

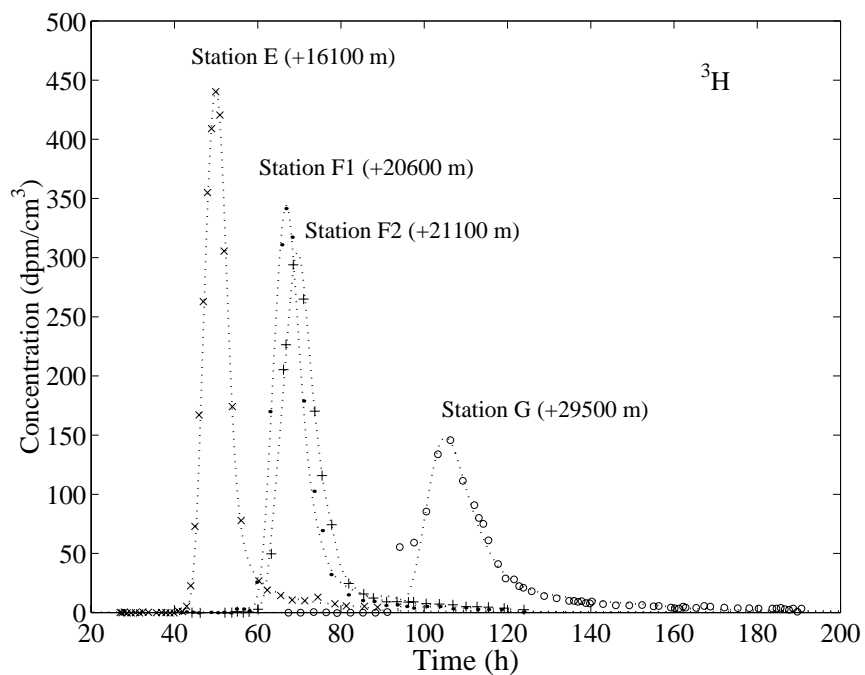
- Spårämnesförsök i mindre vattendrag med tritium ($^3\text{H}_2\text{O}$) och $^{51}\text{Cr}(\text{III})$
- Utveckling av generella samband för vattenutbytet som funktion av geomorfologi och strömningsregim



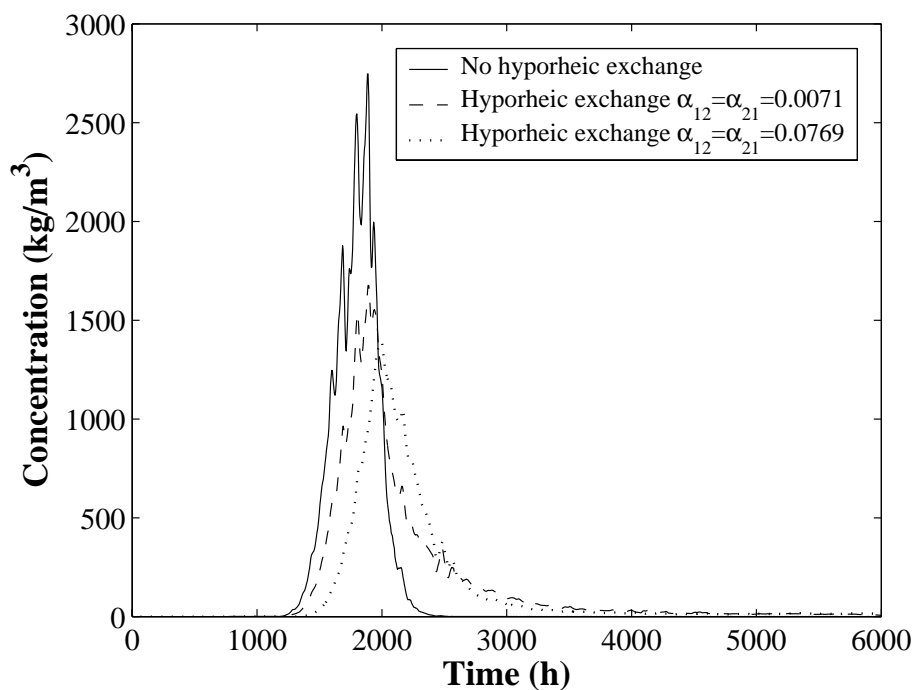
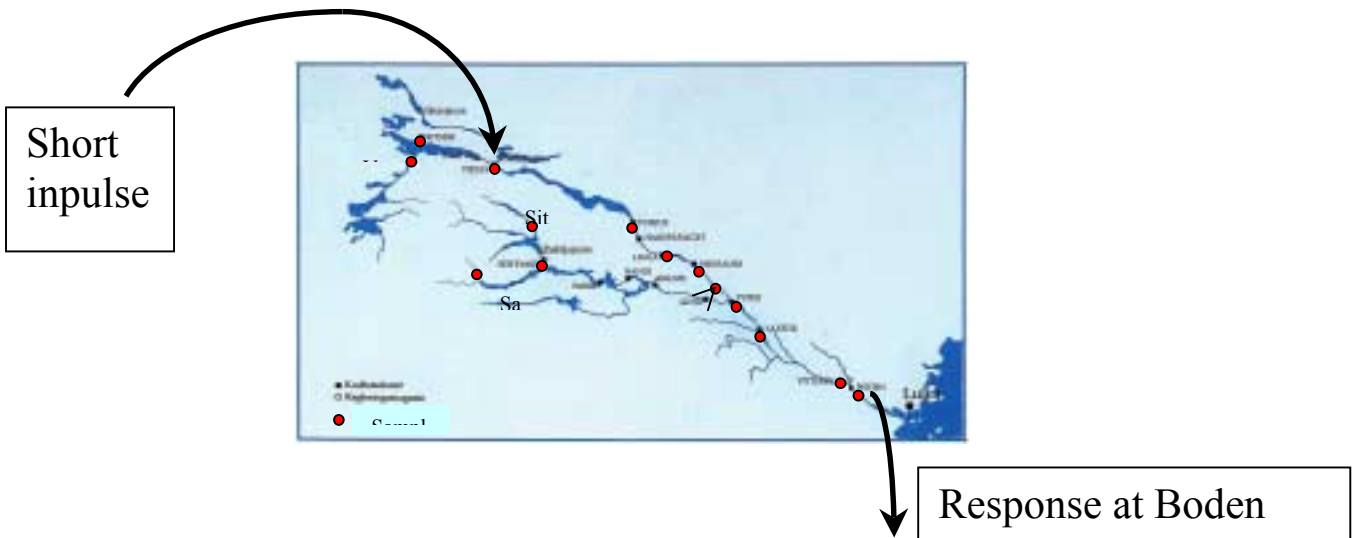
Spårämnesinjektion i Sävaån



- Injektion
- Vattengenombrottskurvor
- Bedprovtagning

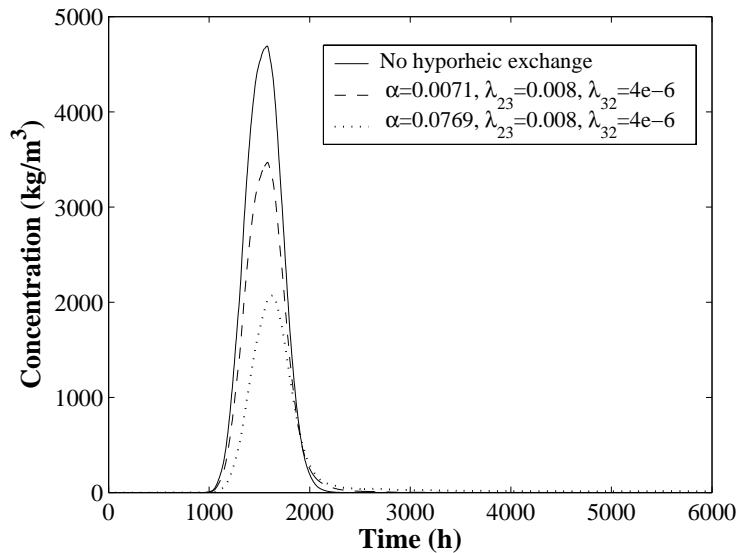


Simulated effect of hyporheic zone on water residence time in regulated Lule River

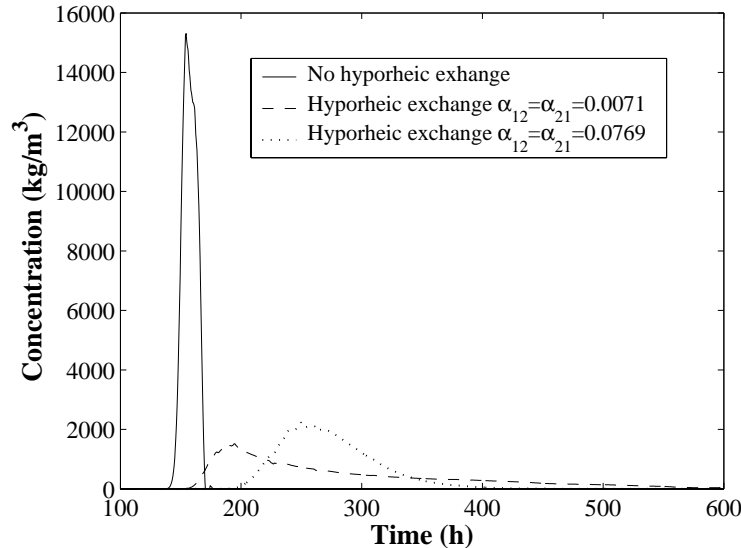


Hydrological data from 20th of June 2000 and onwards

Effect of regulation on water residence time and hyporheic exchange



Water response at Porjus for regulated conditions

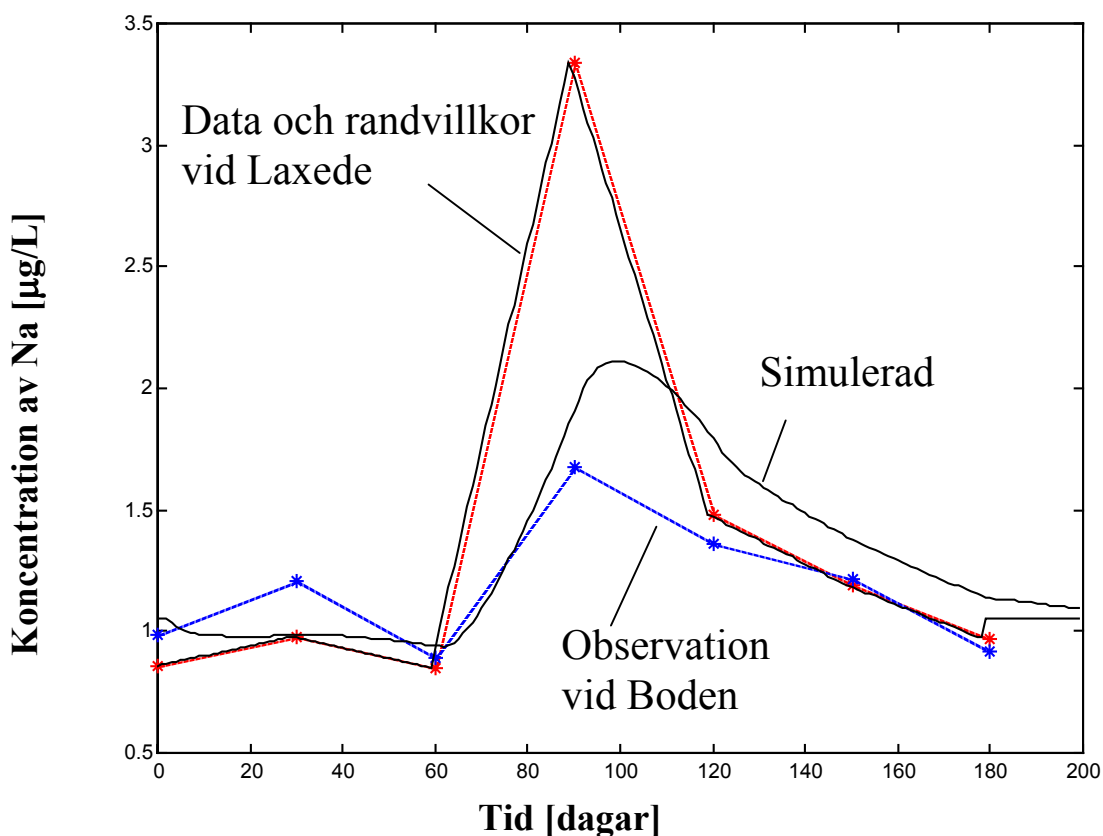


Water response at Porjus for unregulated conditions

- Ten times longer residence times
- Much less exchange with hyporheic zone of inert and reactive elements
- Lower oxygenation of bed sediments

Modellering av löst ämnestransport pågår

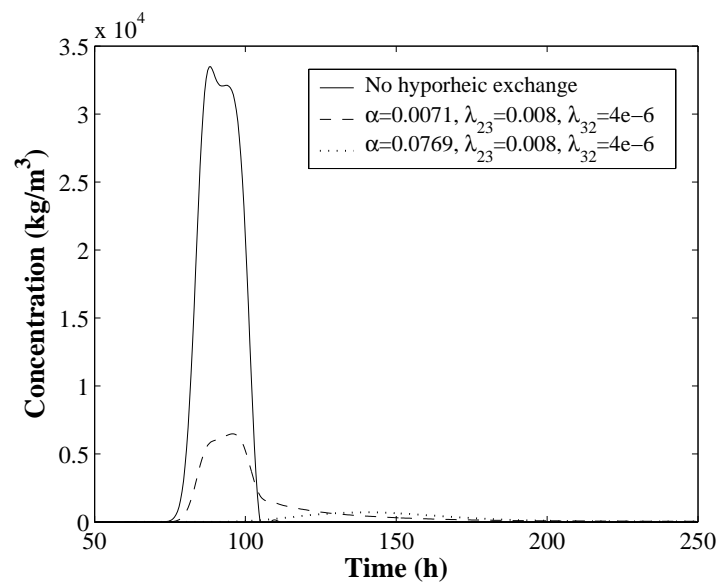
Exempel för Na



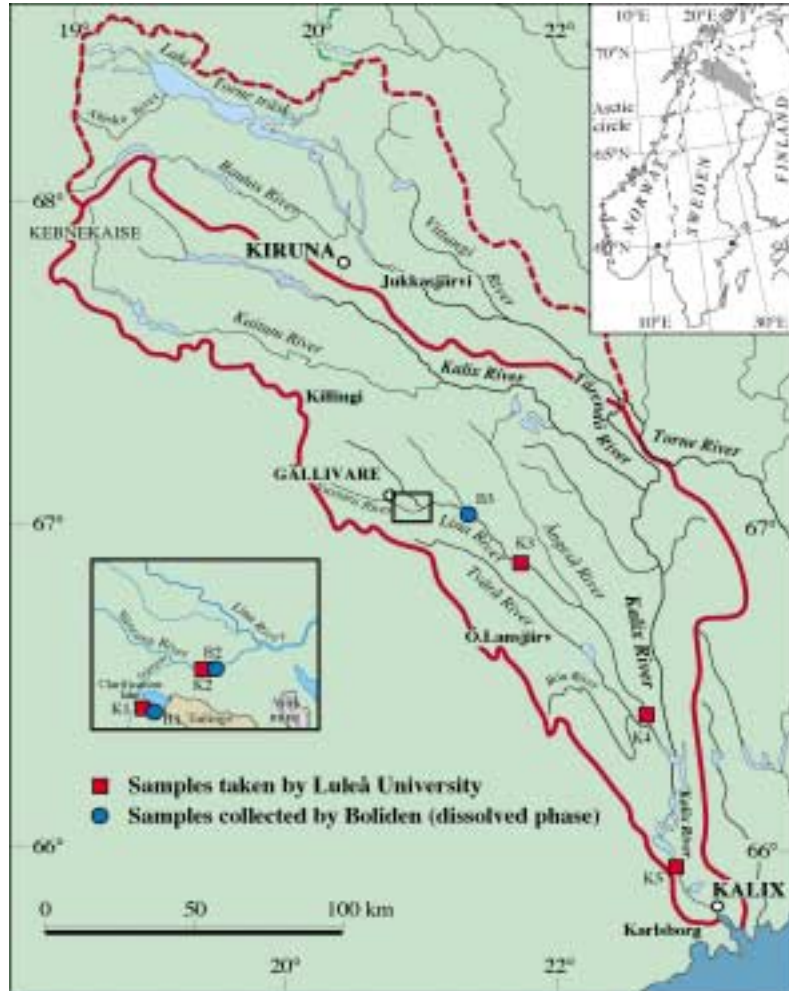
$W=10e-6; T=300000; h=1; u=0.5; a=4.31e-5; E=3; x=70000; KB=2;$

“Impact of hyporheic exchange on solute transport in a highly hydropower-regulated river”, Karin Jonsson, Anders Wörman, Lisbeth Drugge och Björn Öhlander. Manuscript.

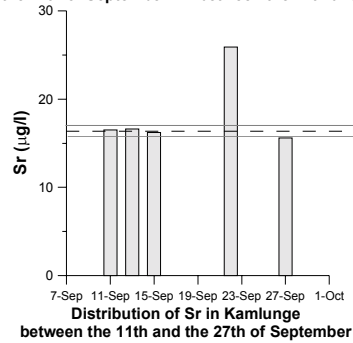
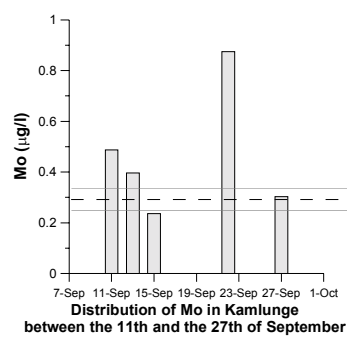
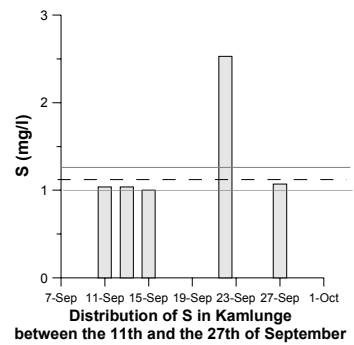
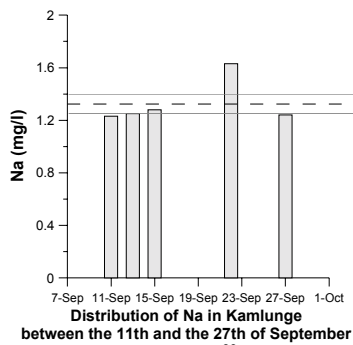
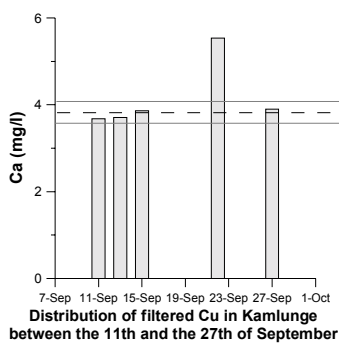
Example of simulated retention for sorptive solute



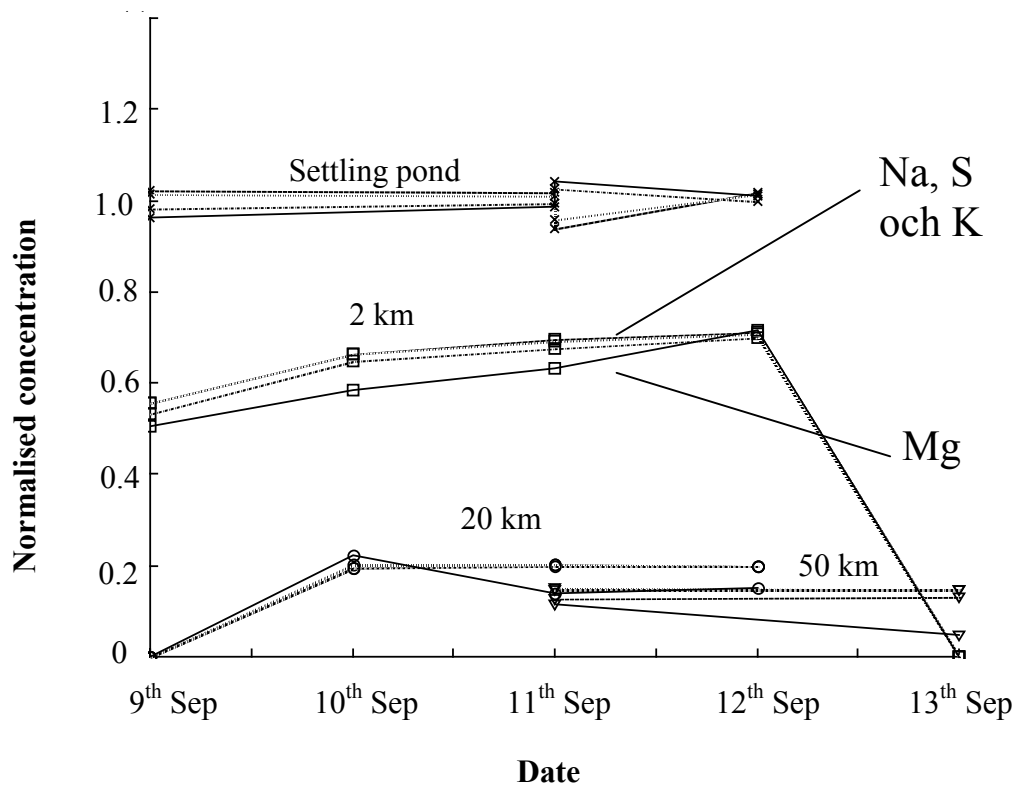
Failure of Aitik tailingsdam



Koncentration peaks observed at Kalmunge, 150 km from Aitik

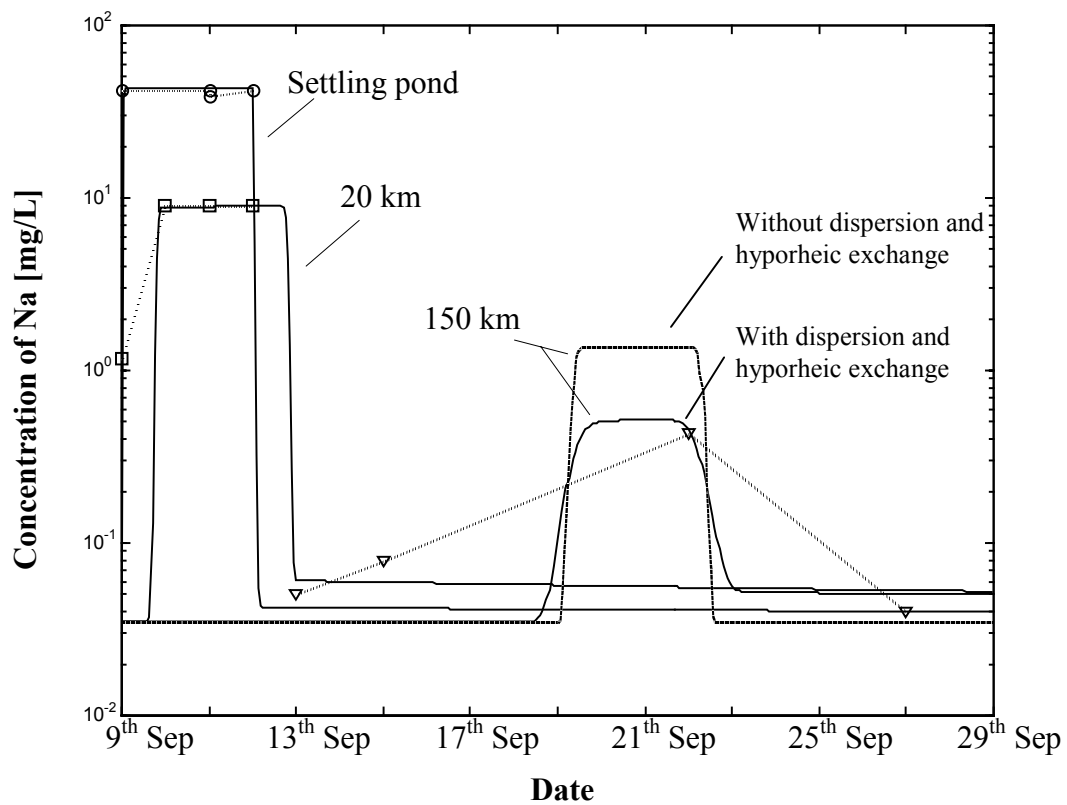


Reaktiva element uppvisar högre retention



- The concentration of Mg is 6%, 14% and 41% lower than the concentrations of Na, S and K at the distances 2, 20 and 50 km

Model results



Slutsatser

- Tydliga gradienter i fleratalet ämnen längs Luleälven: Avrinningsområdets funktion är viktig, inte enbart Luleälven
- Preliminär modellering visar att ett väsentligt hyporeiskt utbyte förekommer för lösta ämnen
- Uppehållstiden i den hyporeiska zonen förlängs i en reglerad älv med större vattendjup;
$$T \sim (g A^2 h^2)/(Q^2 K)$$
- Regleringen av flödet minskar transporten av partikulärt material