



Kväveretention i svenska sjöar och vattendrag – betydelse för utsläpp från reningsverk

Kväveretention i svenska sjöar och vattendrag – betydelse för utsläpp från reningsverk

Berit Arheimer och Charlotta Pers

Report Summary / Rapportsammanfattning

Issuing Agency/Utgivare		Report number/Publikation	
Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut SE-601 76 NORRKÖPING Sweden		Hydrologi nr 107	
		Report date/Utgivningsdatum	
		September 2007	
Author (s)/Författare			
Berit Arheimer och Charlotta Pers			
Title (and Subtitle)/Titel			
Kväveretention i svenska sjöar och vattendrag – betydelse för utsläpp från reningsverk			
Abstract/Sammandrag			
Den här rapporten har tagits fram på uppdrag av Naturvårdsverket för att underlätta diskussionen med EU-kommissionen, som har annonserat att den tänker stämma Sverige inför EU-domstolen för otillräckligt genomförande av avloppsdirektivet. Vid bedömningen av vilka reningsverk som omfattas av krav på kväverening tas i Sverige hänsyn till den naturliga avskiljning (retention) som sker i vattendrag under transporten från utsläppskälla till havet. Kväveretention är ett vedertaget begrepp som inkluderar ett flertal naturliga biogeokemiska processer som permanent reducerar kväve från vattenfasen i sjöar och vattendrag. Speciellt stor är effekten i sjörika områden. Naturlig retention är dock svår att mäta. I Sverige har man utvecklat ett modellsystem för storskalig beräkning av närsalttransport, inklusive retention, från land till hav med relativt hög geografisk upplösning. Systemet kopplar fältskalemodeller med avrinningsmodeller (HBV-NP), är vetenskapligt dokumenterat och granskat och har tillämpats storskaligt sedan 1997 för internationell rapportering till HELCOM. Det är stor skillnad i sjöars retentionskapacitet; i norra delarna av landet är den låg medan sjöarna i de södra delarna av landet är betydligt effektivare som kvävesänkor. Totalt reduceras ca 30 000 ton kväve per år i sjöar och vattendrag, varav 70% i södra Sverige. De reningsverk vars utsläpp passerar fler sjöar får liten påverkan på havet. Naturlig kväveretention i vattendrag och sjöar reducerar de svenska reningsverkens bidrag till kusten med 3200 ton/år, vilket motsvarar 18% av reningsverkens totala utsläpp. Retentionen varierar dock betydligt mellan olika delar av landet. De flesta reningsverk med större utsläpp finns längs kusten och i södra Sverige.			
Key words/sök-, nyckelord			
HBV-NP, retention, övergödning, reningsverk, kväveutsläpp			
Supplementary notes/Tillägg		Number of pages/Antal sidor	Language/Språk
Rapporten har utförts inom SMED (Avtal: Nr 308 0719) på uppdrag av Naturvårdsverket.		42 + 6	Svenska
ISSN and title/ISSN och titel			
0283-7722 SMHI Hydrologi			
Report available from/Rapporten kan köpas från:			
SMHI SE-601 76 NORRKÖPING Sweden			

Innehållsförteckning

Sammanfattning	1
English Summary	2
Inledning	4
Vad är kväveretention?	5
Hur beräknas kväveretention i sjöar och vattendrag?	10
HBV-NP modellen	10
HBV-NP tillämpningen för hela Sverige	12
Modellkalibrering	13
Hur stor är kväveretentionen i svenska vattendrag och sjöar?	15
Kan man lita på retentionsberäkningarna?	22
Statistisk analys.....	22
Visualisering	23
Känslighetsstudier	27
Andra modeller	30
Tidigare studier med andra metoder och data.....	31
Hur beräknas retentionen för enskilda reningsverks utsläpp?	32
Hur stora är enskilda reningsverks kväveutsläpp efter retention?	33
Slutsatser	39
Referenser	40
Appendix A – Svenska sjöar.....	

Sammanfattning

Den här rapporten har tagits fram på uppdrag av Naturvårdsverket för att underlätta diskussionen med EU-kommissionen, som har annonserat att den tänker stämma Sverige inför EU-domstolen för otillräckligt genomförande av avloppsdirektivet. Vid bedömningen av vilka reningsverk som omfattas av krav på kväverening tas i Sverige hänsyn till den naturliga avskiljning (retention) som sker i vattendrag under transporten från utsläppskälla till havet.

Kväveretention är ett vedertaget begrepp som inkluderar ett flertal naturliga biogeokemiska processer som permanent reducerar kväve från vattenfasen i sjöar och vattendrag. Speciellt stor är effekten i sjörika områden. Sverige har totalt 92 000 sjöar som är större än 1 ha. Det är inte ovanligt med 30-70% kväveavskiljning i svenska vattendrag och sjöar. Den process som dominerar avskiljningen i naturen är denitrifikation, vilket är samma process som utnyttjas för att avlägsna kväve ur avloppsvatten vid reningsverken.

Naturlig retention är dock svår att mäta och måste uppskattas med hjälp av antaganden, som så många andra flöden i naturen. I Sverige har man utvecklat ett modellsystem för storskalig beräkning av närsalttransport, inklusive retention, från land till hav med relativt hög geografisk upplösning. Systemet kopplar fältskalmodeller med avrinningsmodeller, är vetenskapligt dokumenterat och granskat och har tillämpats storskaligt sedan 1997 för internationell rapportering till HELCOM. Avrinningsområdesmodellen (HBV-NP) justeras och utvärderas mot mätningar där sådana finns. Den kväveretention som beräknas med hjälp av HBV-NP modellen utgörs av kväve som permanent avskiljs till atmosfär och sediment och som därför inte vidare bidrar till övergödningen av vattensystemen.

Både beräkningar och mätningar visar att kväveretentionen är störst på sommaren, speciellt i sjörika områden med hög belastning. Det är stor skillnad i sjöars retentionskapacitet; i norra delarna av landet är den låg medan sjöarna i de södra delarna av landet är betydligt effektivare som kvävesänkor. I södra Sverige är medelreduktionen 30-40 kg ha⁻¹ sjö år⁻¹. Totalt reduceras ca 30 000 ton kväve per år i sjöar och vattendrag, varav 70% i södra Sverige. För enskilda utsläpp som sker i inlandet reduceras bidraget till havet kraftigt under transporten genom vattendrag och sjöar, speciellt för sydcentrala Sverige där retentionen i sjöarna är hög. Den ackumulerade effekten kan bli >80% naturlig kväveavskiljning för utsläpp i vissa områden.

Det är svårt att utvärdera modellresultaten eftersom inte kväveretentionen går att mäta direkt och retentionen integreras för stora områden och vattendrag. Ofta används andra variabler för att bedöma trovärdigheten i beräkningarna. HBV-NP modellens resultat utvärderas kontinuerligt mot tidsserier av observationer i vattendrag, både för vattenföring och närsalthalt när den används operationellt. Modellen utvärderas både statistiskt och visuellt. Överensstämmelsen med vattenföring och vattenbalans är normalt god, medan närsalthalterna kan avvika en del från uppmätta värden. Känslighetsstudier har visat att modellen är relativt robust. När modellens resultat jämförs med andra modeller eller enkla budgetberäkningar för sjöar uppstår avvikelser, men dessa kan normalt förklaras av olika

antaganden och indata. Modellen har inte sämre precision än andra motsvarande modeller, snarare är den något bättre vad gäller vattenföring.

När man beräknar hur stor andel av kväveutsläppet från ett enskilt reningsverk som når havet ackumuleras retentionen enligt flödesvägarna i landskapet. De reningsverk vars utsläpp passerar fler sjöar får liten påverkan på havet. Naturlig kväveretention i vattendrag och sjöar reducerar de svenska reningsverkens bidrag till kusten med 3200 ton/år, vilket motsvarar 18% av reningsverkens totala utsläpp. Retentionen varierar dock betydligt mellan olika delar av landet. De flesta reningsverk med större utsläpp finns längs kusten och i södra Sverige, där 90% av retentionen på reningsverksutsläppen sker. I Norrlands inland är reningsverken få och retentionen låg, vilket gör att mängden reducerat utsläpp är låg.

Allt tyder på att den beräknade kväveretentionen för Sverige är av rätt storleksordning och att det storskaliga mönstret för Sverige är korrekt, även om avvikelser kan förekomma för enskilda mindre områden och för olika tidsperioder.

English Summary

This report has been compiled on request of the Swedish Environmental Protection Agency to facilitate the discussion with the EU Commission. The EU Commission has announced that it will take Sweden to the European Court of Justice for failing to ensure proper treatment of urban waste water according to the Urban Waste Water Treatment Directive (Directive 91/271/EEC). In Sweden natural nitrogen removal (retention) in waterbodies is considered as part of the treatment of emissions, when transported to the sea.

Nitrogen retention is a well-known phenomenon that includes several natural biogeochemical processes, which permanently remove nitrogen from the water. The effect may be considerable in areas with many lakes. Sweden has 92 000 lakes larger than 1 hectare. It is rather normal with 30-70% nitrogen retention in Swedish lakes and rivers. The main process for natural nitrogen retention is denitrification, which is the same process that is applied for biological treatment in waste water plants.

Natural retention is hard to measure, however, and has to be estimated based on several assumptions like so many other fluxes in nature. In Sweden a model system has been developed for large-scale calculation of nutrient transport, including retention, from land to the sea, with relatively high geographic resolution. The system couples field-scale models with catchment models and is scientifically documented and reviewed. It has been applied since 1997 for international reporting to HELCOM. The catchment model (HBV-NP) is tuned and evaluated against monitored time-series of measurements where such are available. The nitrogen retention that is calculated with HBV-NP is composed of nitrogen that is permanently transferred to the atmosphere and sediment, and which therefore will not further contribute to the eutrophication of water systems.

Both calculations and measurements show that the retention is largest in the summer, especially in areas with many lakes and high loads. The retention capacity of lakes differs geographically; in the northern part of the country it is low, while the lakes in the southern part of the country are more effective as nitrogen sinks. In Southern Sweden the mean retention is 30-40 kg ha⁻¹ lake yr⁻¹. In total about 30 000 tonnes nitrogen is reduced annually in lakes and rivers, and 70% of this is reduced in southern Sweden. For emissions in the interior of the country, the load is reduced considerably during the transport through rivers and lakes, especially for south-central Sweden where the retention in the lakes is high. The accumulated retention can be over 80% in certain areas.

It is difficult to evaluate the model results, since nitrogen retention cannot be measured directly and is integrated for large areas and waterbodies. It is common to use other variables to judge the credibility of the retention calculations. The result of the HBV-NP model is continuously evaluated against time series of observations in watercourses, both discharge and nutrient concentration, when it is used operationally. The model is evaluated both visually and statistically. The agreement for discharge and water balance is normally good, while the nutrient concentration can deviate more from observations. Sensitivity studies show that the model is relatively robust. When the model is compared to other models or budget calculations, the deviations can normally be explained by different assumptions or input data. The HBV-NP model has about the same precision as other similar models, nevertheless, the water discharge normally shows better accuracy.

For source apportionment calculations, the retention in the flow paths of the landscape is accumulated for the emissions from specific urban waste water treatment plants (UWWTP). The emissions that pass through many lakes have only small impact on the sea. Natural nitrogen retention in rivers and lakes reduces the Swedish UWWTP:s contribution to the coast with 3200 tonnes per year, which corresponds to 18% of their total emissions. However, the retention varies substantially between different parts of the country. Most of the UWWTP with large emissions are located along the coast and in southern Sweden, where 90% of the natural retention occurs. In the interior of northern Sweden there are few UWWTP and the retention capacity is low, and thus, the amount of reduced nitrogen is also low.

Everything indicates that the calculated nitrogen retention for Sweden is of the right magnitude and that the large-scale pattern for Sweden is correct, even if deviation can occur for small specific areas and for different time-periods.

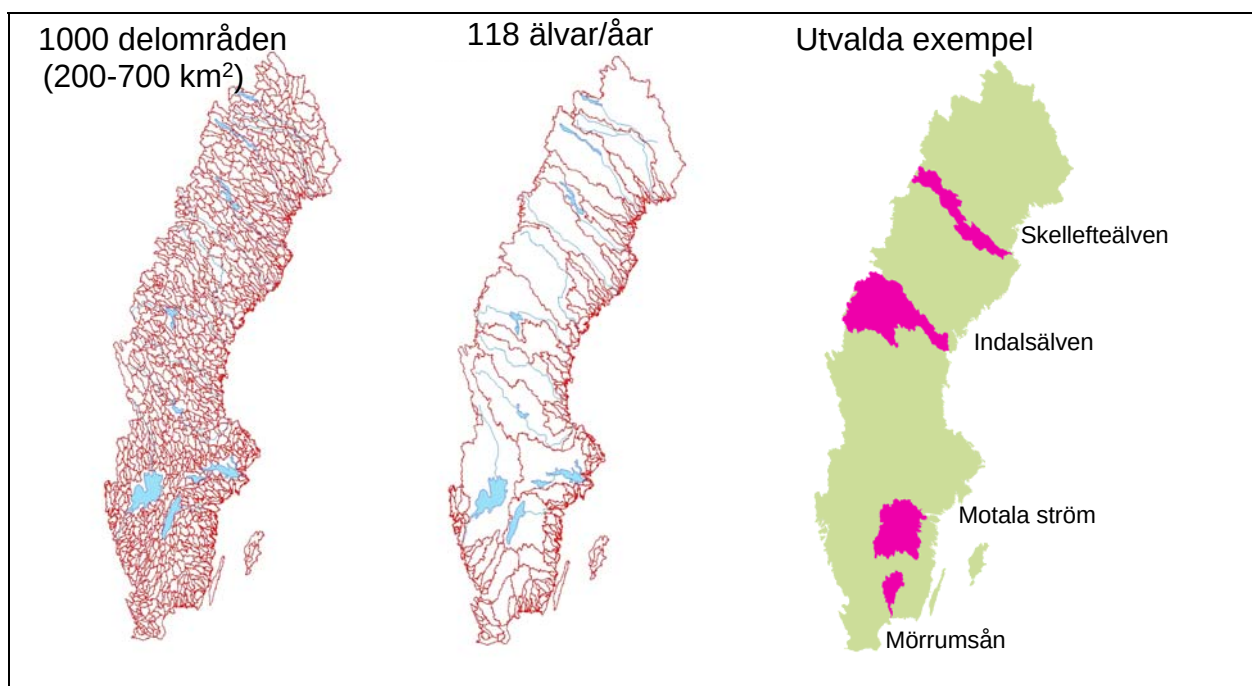
Inledning

EU-kommissionen har annonserat att den tänker stämma Sverige inför EU-domstolen för otillräckligt genomförande av avloppsdirektivet (91/271/EEG), särskilt vad gäller utbyggnad av kväverening av Sveriges avloppsreningsverk i inlandet och sådana med utsläpp till Bottenhavet och Bottenviken. Sverige har infört avloppsdirektivet genom Naturvårdsverkets föreskrifter SNFS 1994:7. Där anges att alla reningsverk > 10 000 personequivallenter (population equivalents) från Strömstad till och med Norrtälje kommun skall ha särskild kväverening. Vid bedömningen av vilka verk som omfattas av krav på kväverening tas hänsyn till den naturliga avskiljning (retention) som sker i vattendrag och sjöar under transporten från utläppskälla till havet.

Syftet med den här rapporten är att på ett pedagogiskt och vetenskapligt sätt redogöra för kvävetransport och retention i svenska vattendrag och sjöar. Rapporten är till stor del en syntes av tidigare arbeten och forskning inom området i Sverige och Europa. Några pedagogiska exempel baserade på mätningar och modeller illustrerar svenska förhållanden. Dessutom beskrivs den svenska beräkningsmetodiken och osäkerheten i beräkningarna diskuteras.

Det svenska modellsystemet TRK (Transport-Retention-Källfördelning) beräknar kväveläckage, emissioner, transport och omvandling längs flödesvägarna och omfattar hela landets yta (Brandt och Ejhed, 2002). Vattenförling, ämnestransport och retention modelleras dynamiskt med HBV-NP modellen (Andersson m.fl., 2005). Beräkningarna görs för internationell rapportering av föroreningars transport och källfördelning från land till hav till havsmiljökommissionerna HELCOM och OSPAR. Dessutom är resultaten och modellerna intressanta för karaktärisering och åtgärdsplanering inom EUs ramdirektiv för vatten (Direktiv 2000/60/EG). Sverige är ett ovanligt sjörikt land med mycket ytvatten som används till dricksvatten, elproduktion, fiske och rekreation. Övergödning är ett stort problem i många sjöar och kustvatten så bra beslutsunderlag rörande närsaltflöden är mycket eftertraktade av vattenförvaltningen.

Sverige omfattar ca 450 000 km² och har totalt 92 000 sjöar som är större än 1 ha. De nationella beräkningarna görs explicit för de 776 största sjöarna och indirekt för mindre sjöar i 1000 delområden som är kopplade längs de 118 större älvar och åar som når havet (Fig. 1). Resultaten jämförs med uppmätt vattenförling och uppmätta kvävehalter där mätresultat finns. I rapporten illustreras resultaten mer detaljerat i fyra utvalda områden som representerar olika landskapstyper där det finns bra mätserier och relativt stora reningsverk.

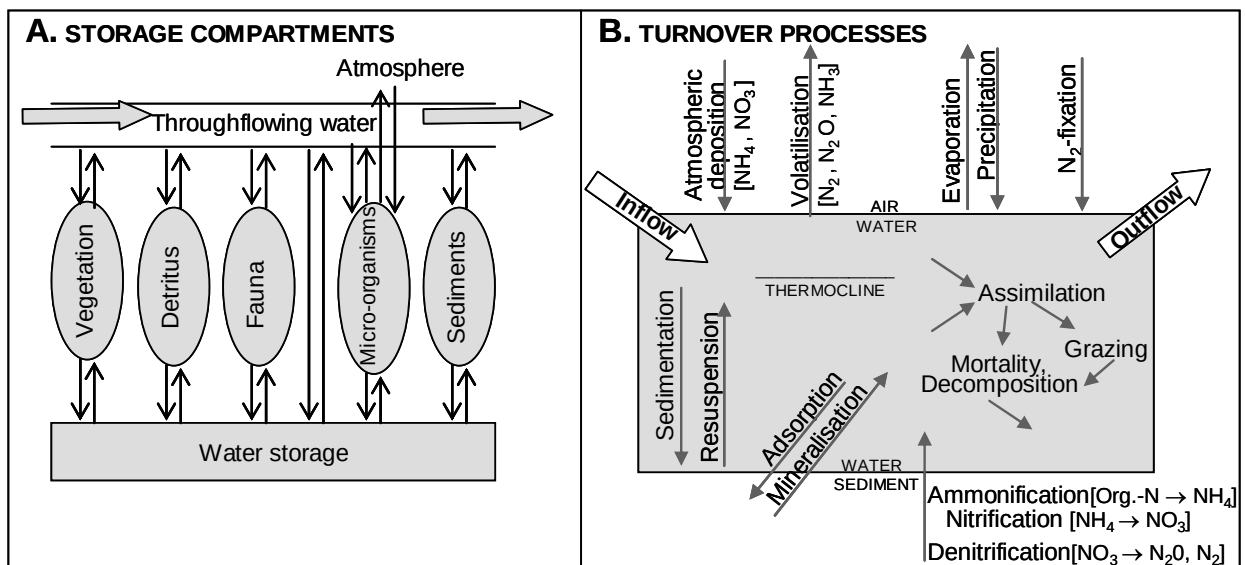


Figur 1. Illustration av de ca 1000 beräkningsområdena i TRK-systemet, som är kopplade enligt flödesvägarna till havet, Sveriges 118 större älvar och åar och de utvalda exempelvattendragen.

Figure 1. Illustration of the ca 1000 subbasins in the TRK calculation system, which are coupled according to the flowpaths to the sea, the 118 main rivers of Sweden and the rivers chosen as examples in this report.

Vad är kväveretention?

Summan av ett områdes alla kväveutsläpp och naturligt markläckage till ett vatten är normalt större än vad som rinner ut ur området; skillnaden har sedan länge kallats för retention (tex. Howard-Williams, 1985; Dillon m.fl., 1990; Haycock m.fl., 1993; Faafeng & Rose, 1993; Dorge, 1994; Windolf m.fl., 1996). Detta är ett samlat begrepp för ett flertal naturliga biogeokemiska processer som sker i vattendrag (se Figur 2) och som normalt resulterar i kväveavskiljning. De processer som bidrar till den permanenta avskiljningen är främst sedimentation och denitrifikation. Denitrifikation innebär att vattenburet kväve omvandlas till kvävgas av mikroorganismer och inte längre finns tillgängligt för biologiskt upptag utan går upp i atmosfären. Detta kväve avskiljs således permanent till atmosfären och bidrar därför inte vidare till övergödningen av vattensystemen. Denitrifikation är den dominerande processen för avskiljning i naturliga system och den som modelleras i HBV-NP modellen. Det är även denitrifikationsprocessen som utnyttjas vid biologisk rening i reningsverk.



Figur 2. Kväveomvandling i vattenmiljö; (A) utbyte mellan vattendragsburet kväve och de största poolerna, och (B) de främsta processerna som påverkar kvävehalter i sjö/vattendrag.

Figure 2. Nitrogen transformation in the aquatic system; (A) interactions between transported N and major storage compartments, and (B) major turnover processes affecting nitrogen concentration in a waterbody.

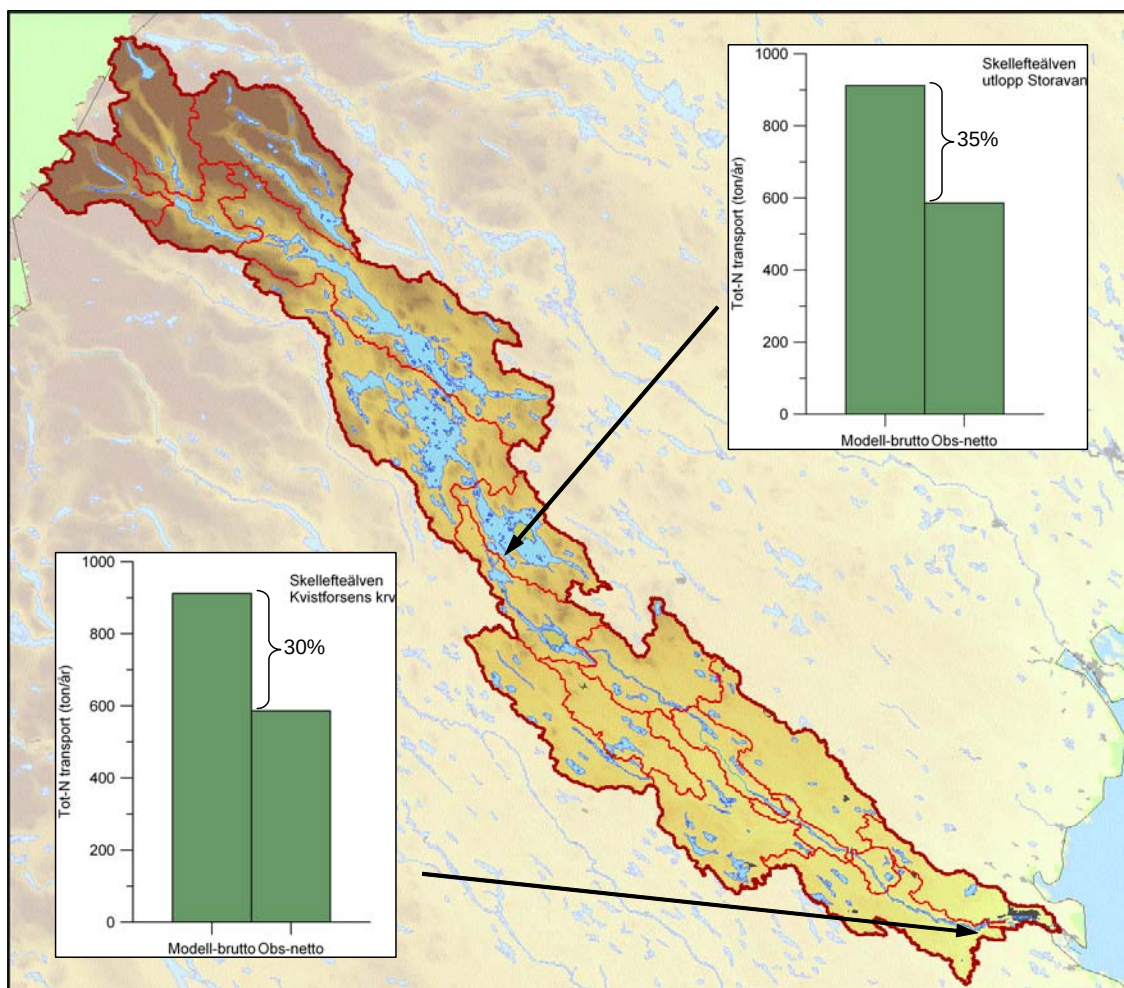
I den vetenskapliga litteraturen är de flesta beräkningarna av retention baserade på:

1. budgetberäkningar (massbalanser) för enskilda vattendrag (tex. Dudel & Kohl, 1992; Molot & Dillon, 1993; Emmett m.fl., 1994),
2. direkta mätningar av denitrifikation i fält (tex. Fustec m.fl., 1991; Lowrance, 1992; Svendsen & Kronvang, 1993), eller
3. numeriska modeller (tex. Arheimer & Brandt, 1998; Kryzanova m.fl., 1998; Heng & Nikolaidis, 1998; Seitzinger m.fl., 2000; Wade m.fl., 2002).

Retentionens storlek kan relateras till faktorer som varierar i tid och rum, såsom temperatur och vattenflöde. Med temperaturen ökar metabolismen hos organismer och därmed hastigheten i processer, såsom växtupptag och denitrifikation. I naturliga vattendrag ger detta lägre kvävehalter under sommaren. Kväveavskiljningen blir störst där vattnet samlas i landskapet och processerna får verka på vattenmassan under en längre tid, exempelvis i våtmarker, sjöar och vattendrag. Där brukar även förutsättningarna för denitrifikation vara gynnsammast eftersom det finns syrefattiga miljöer.

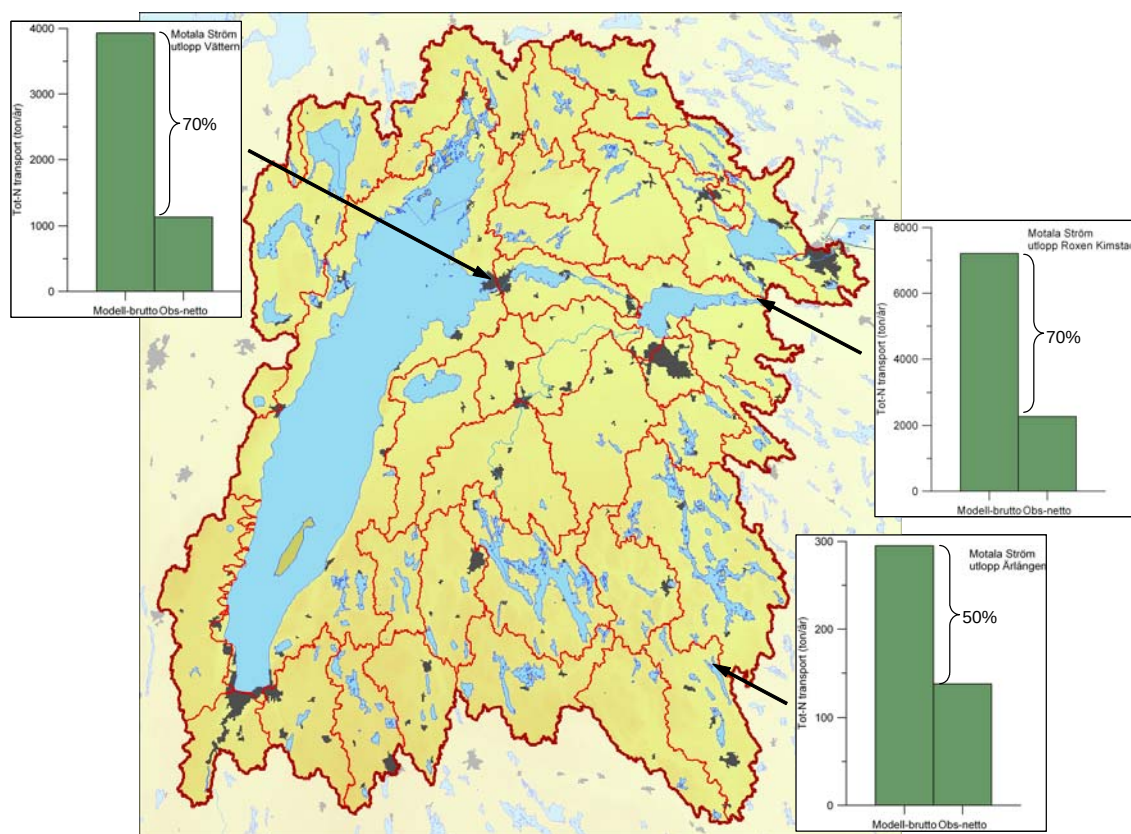
Nedan följer ett antal exempel på kväveretention i svenska vattendrag. Figur 3-5 illustrerar skillnad mellan uppskattad belastning och uppmätt kvävetransport i ett antal punkter längs tre större älvar och åar. I dessa godtyckliga exempel överstiger uppskattad belastning (utsläpp och markläckage) uppmätt transport med 30-70%. Vattenföringen är densamma för varje punkt medan halterna skiljer mellan förväntad halt vid en viss

kvävebelastning och vad som faktiskt kan mätas. Framförallt är det värt att notera är den stora effekt som Vättern har på punkterna nedströms (Motala Ström utlopp Vättern och Motala Ström utlopp Roxen Kimstad i Figur 4). Figurerna visar medelvärden för 15-20 år med månadsvis provtagning av kvävehalt.



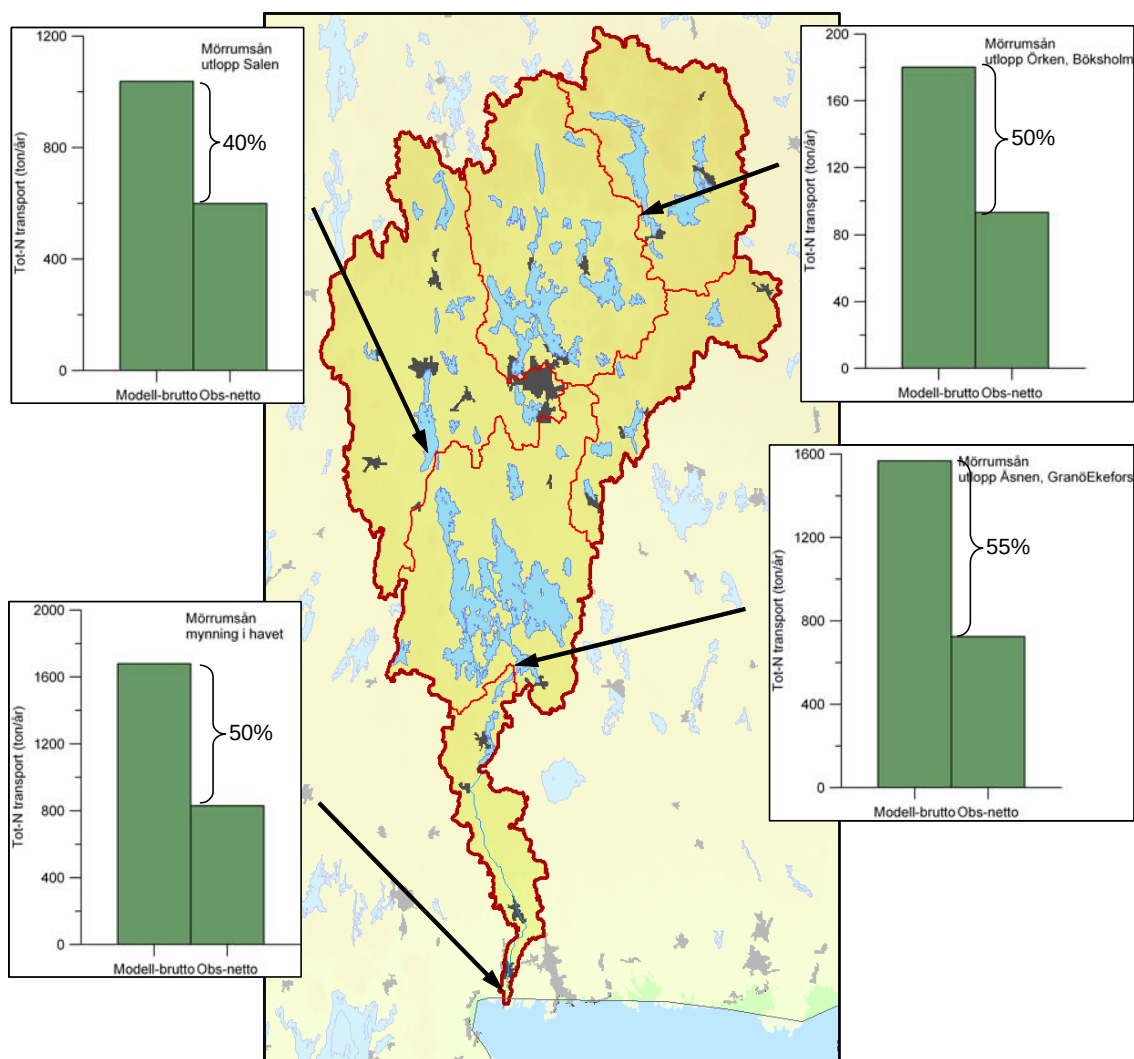
Figur 3. Skillnad mellan kväve-utsläpp/belastning uppströms mätpunkter (Modell-brutto) och den kvävemängd som kan observeras i vattendraget (Obs-netto) för ett par punkter längs Skellefteälven.

Figure 3. Difference between nitrogen emissions/load upstream a monitoring station (Modell-brutto) and the nitrogen load, which is measured in the river (Obs-netto) for some sites along the Skellefteälven River.



Figur 4. Skillnad mellan kväve-utsläpp/belastning uppströms mätpunkter (Modell-brutto) och den kvävemängd som kan observeras i vattendraget (Obs-netto) för några punkter längs Motala ström.

Figure 4. Difference between nitrogen emissions/load upstream a monitoring station (Modell-brutto) and the nitrogen load, which is measured in the river (Obs-netto) for some sites along the Motala ström River.



Figur 5. Skillnad mellan kväve-utsläpp/belastning uppströms mätpunkter (Modell-brutto) och den kvävemängd som kan observeras i vattendraget (Obs-netto) för några punkter längs Mörrumsån.

Figure 5. Difference between nitrogen emissions/load upstream a monitoring station (Modell-brutto) and the nitrogen load, which is measured in the river (Obs-netto) for some sites along the Mörrumsån River.

Slutsats: Kväveretention är ett vedertaget begrepp och inkluderar ett flertal naturliga biogeokemiska processer som avlägsnar kväve från vattenfasen i sjöar och vattendrag. Den process som dominerar avskiljningen är denitrifikation, både i naturen och i biologisk rening i reningsverken. Speciellt stor är effekten i sjörika områden. Det är inte ovanligt med 30-70% kväveavskiljning i svenska vattendrag och sjöar.

Hur beräknas kväveretention i sjöar och vattendrag?

De senaste 20 åren har stora ansträngningar gjorts i forskarsamhället och bland myndigheter för att förstå retentionsprocesserna och uppskatta kväveretentionens betydelse. Flera internationella samarbetsprojekt, bl.a. 30-talet EU-projekt, har undersökt kväveretention i olika landskapselement eller integrerat för hela avrinningsområden. Några av de mest kända är NICOLAS, BUFFER, REBECCA, WET, INCA, HARMONICA, EUROHARP och EUROLIMPACS. Syftet med dessa projekt har ofta varit att ta fram verktyg och kunskap för bättre beslutsunderlag i vattenförvaltningen (tex. inom Ramdirektivet för vatten och Nitratdirektivet) och för mer harmoniserad internationell rapportering.

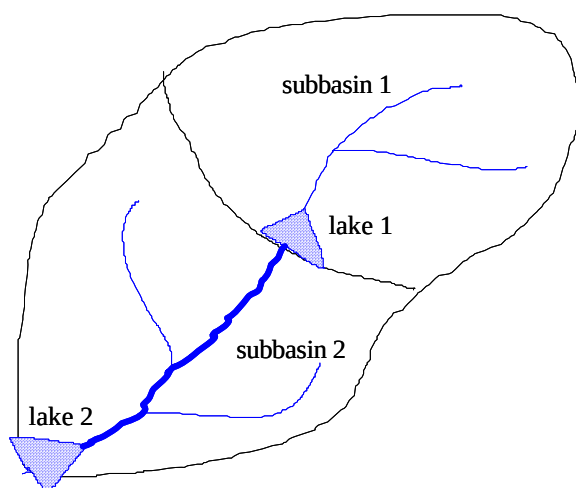
De beräkningsmodeller för kväveretention som finns har utvecklats för olika skalor och ändamål, och med olika detaljeringsgrad i processbeskrivningen (Arheimer och Olsson, 2003). Några av de vanligaste modellerna för praktisk tillämpning i många europeiska avrinningsområden är den amerikanska modellen SWAT (Neitsch m.fl., 2002), europeiska/brittiska INCA-N (Wade m.fl., 2002), tyska MONERIS (Behrendt m.fl., 2000), holländska POLFLOW (deWit & Bendorichio, 2001), danska MIKE-basin (från DHI) och finska N_EXRET (Lepistö m.fl., 2006). I Sverige används HBV-NP modellen (Andersson m.fl., 2005) för storskaliga nationella beräkningar, men det finns flera andra modeller som används lokalt och regionalt. Kvävedelen av HBV-NP har även testats i forskningssyfte för 9 europeiska områden, varav några inom EU-projektet EUROHARP.

HBV-NP modellen

HBV-NP modellen simulerar transport och halt av kväve (N) och fosfor (P) i landskapet. Samtliga stora källor och markläckage blandas i vattenflödet, därefter beräknas påverkan av olika biogeokemiska processer under transporten från källa till utlopp. Modellen används ofta för karaktärisering av påverkan på en sjö eller kust, för att identifiera största källorna eller läckageområdena, uppskatta retentionen i landskapet och kvantifiera flödena. Utöver detta kan modellen användas för att separera mänsklig påverkan från naturlig bakgrundshalt eller utvärdera effekten av olika förändringar i området (tex. inför åtgärdsprogram eller klimatförändring). Resultatet från en simulering med HBV-NP är tidsserier med daglig koncentration och vattenföring på olika platser i avrinningsområdet. Från dessa räknas sedan transport, retention och källfördelning av kväve och fosfor fram.

HBV-NP modellen är baserad på den hydrologiska modellen HBV (Bergström, 1995; Lindström m.fl., 1997), som räknar på vattenflöden från nederbörd till vattendrag till hav. HBV-modellen är den modell som används operationellt i Skandinavien för hydrologiska prognoser sedan 70-talet till både kraftindustrin och nationella varningstjänsten. Modellen har dessutom använts i ett 50-tal andra länder. HBV-modellen har under 1980-, 1990- och 2000-talet kompletterats med modeller för beräkning av kväve och fosfor. Kvävemodellen utvecklades först (Bergström m.fl., 1987; Brandt, 1990; Arheimer & Brandt, 1998) för att senare utökas med fosformodellen (Andersson m.fl., 2005).

I HBV-NP delas ett avrinningsområde upp i mindre delar (delområden). Delområdena utgör modellens rumsliga upplösning. Delområdena är kopplade till varandra i ett nätverk så att vatten, kväve och fosfor som rinner ut från ett delområde tas om hand av delområdet närmast nedströms (Fig. 6).



Figur 6. Avrinningsområde bestående av två delområden (svart linje), båda med varsin sjö vid utloppet och flera åar (blå linje).

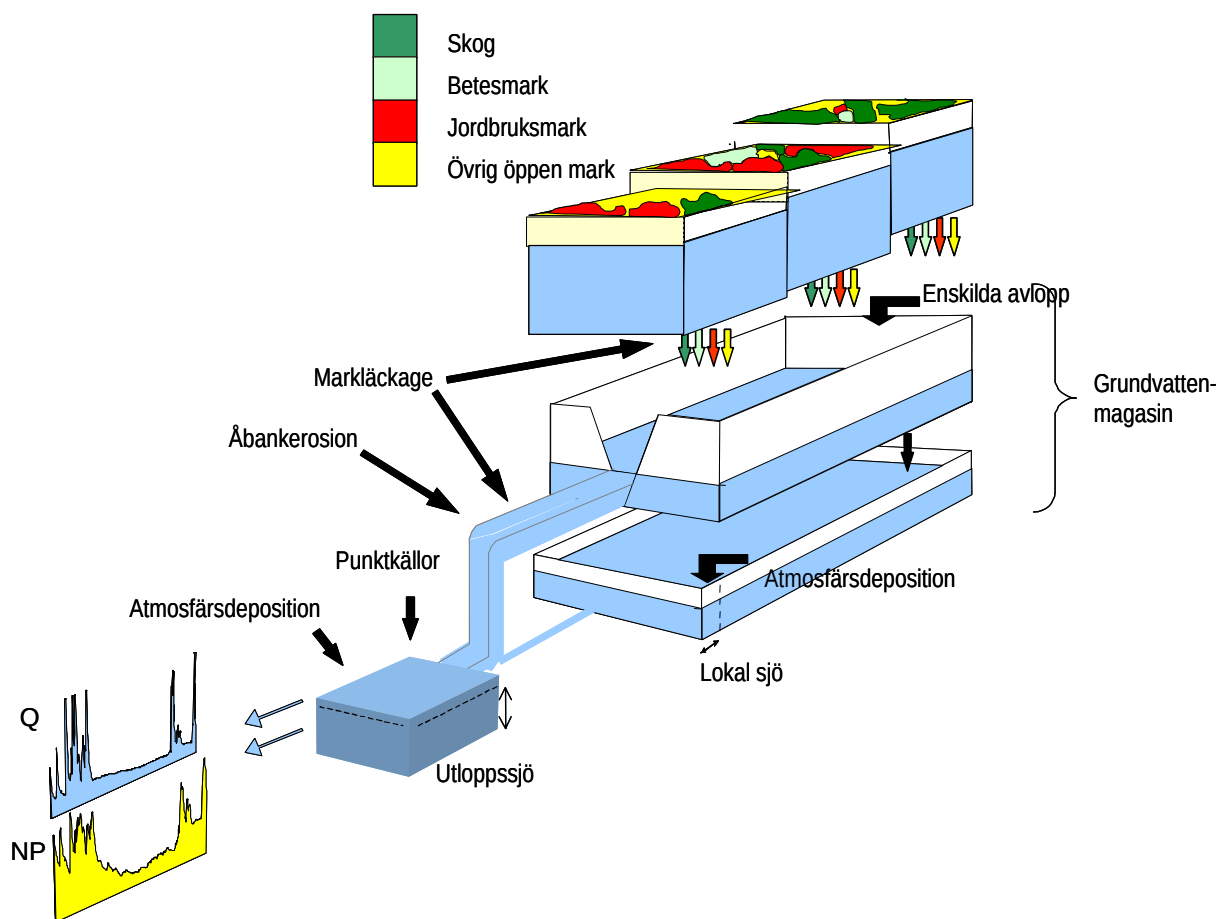
Figure 6. Catchment area divided into two subbasins (black line), both with an outlet lake and several rivers (blue line).

Modellen hanterar kväve och fosfor som läcker från marken, atmosfärsdeposition på sjöar, utsläpp från reningsverk, industrier, dagvatten och enskilda avlopp, erosion (från jordbruksmark och åbankar) och frigörande av fosfor från sjöbottnar. Markläckaget är olika beroende på markanvändning, jordart och grödofördelning. Modellens näringsämnen blandas i och transporteras med vattnet i marken, grundvattnet, åar och sjöar (Fig. 7).

Vattenberäkningen inkluderar snö, avdunstning, markfuktighet och avrinningsbildning inom varje delområde, och därefter ledning genom vattendrag och sjöar i delområdena ner till avrinningsområdets utlopp. Kväve och fosfor beräknas parallellt med vattnet. Modellen simulerar kväve och fosfor uppdelat i fyra fraktioner; oorganiskt kväve, organiskt kväve, löst reaktivt fosfor och partikulärt fosfor. Dessa fraktioner påverkas av olika transformationsprocesser i vattnet under deras transport till avrinningsområdets utlopp.

I vattendrag och sjöar sker retention av oorganiskt kväve och löst reaktivt fosfor (denitrifikation, algupptag). Organiskt kväve kan produceras biologiskt eller ha retention (mineralisering) i modellen, medan partikulärt fosfor och organiskt kväve kan ha retention (sedimentation). Bottensediment kan också fungera som en fosforkälla genom att löst reaktivt fosfor eller partikulärt fosfor frigörs. Transformationsprocessernas storlek

beror på koncentration, temperatur, vattenvolym eller ytare. Hastigheten i processerna justeras (kalibreras) med parametrar för att anpassa modellens resultat till mätningar i avrinningsområdet.



Figur 7. Illustration av vattenflödet genom HBV-NP modellen, källorna för kväve och fosfor och resultatet i form av tidsserier. Bilden visar endast ett delområde.

Figure 7. Illustration of the calculated water flow through the HBV-NP model, added sources of nitrogen and phosphorus and the result in the form of time series. The figure shows only one subbasin.

HBV-NP tillämpningen för hela Sverige

För att tillämpa HBV-NP med god areell upplösning för hela Sverige krävs mycket indata. Bland de data som behövs ingår resultat från fältskalemodellerna SOILNDB (Johnsson m.fl., 1987; Johnson & Mårtensson, 2002) och ICECREAM (Tattari m.fl., 2001). Fältskalemodeller simulerar näringsläckage från ett tvärsnitt av en enhetlig mark. De två nämnda för TRK-systemet räknar ut hur mycket läckaget är från jordbruksmark uppdelat på olika grödor m.m. Tabell 1 redovisar data som används i HBV-NP (Pers, 2007) och fältskalemodellerna.

Tabell 1. Indata som krävs för TRKs modellsystem.

Table 1. Necessary input data for the TRK calculation system.

Datakrav för HBV-NP	Geografiska data: Delområdesgränser, åfårens väg, sjöar, höjd över havet, lutning, jordart, markanvändning, sjöarea och medeldjup, åfårens längd. Hydrologiska data: Nederbörd, lufttemperatur, potentiell avdunstning, uppmätt vattenflöde. Kväve- och fosfordata: koncentration i vattendrag, typhalt för läckage från mark för olika markanvändningar inklusive olika grödor för jordbruksmark uppdelat på jordart/lutning/förrådsfosfor/gödningsmedel, våt- och torrdeposition av kväve och fosfor på vattenytor och i skog, utsläpp från enskilda avlopp och punktkällor.
Datakrav för SOILNDB och ICECREAM	relativ fuktighet, vind, molnighet, fosfor och organiskt material i mark, rotation av grödor, brukningsmetod och skörd, konst- och stallgödsling, kvävefixeringshastighet hos vall, depositions-hastighet, djurtäthet.

HBV-NP har använts som underlag till HELCOMs Pollution Load Compilation (PLC) vid tre tillfällen sedan 1997. PLC sammanställs av HELCOM med 5-6 års mellanrum och betecknas PLC-1, PLC-2 etc. Tillämpning för hela Sveriges yta har gjorts två gånger; i TRK-projektet (Brandt & Ejhed, 2002) inför PLC-4 och nu inför PLC-5. I tillämpning för Sverige har en uppdelning i 1000-1100 delområden använts. Varje huvudvattendrag har simulerats för sig (förutom Kalix- och Torneälven som pga. bifurkationen Tärendöälven simulerats tillsammans i senaste tillämpningen PLC-5).

Modellkalibrering

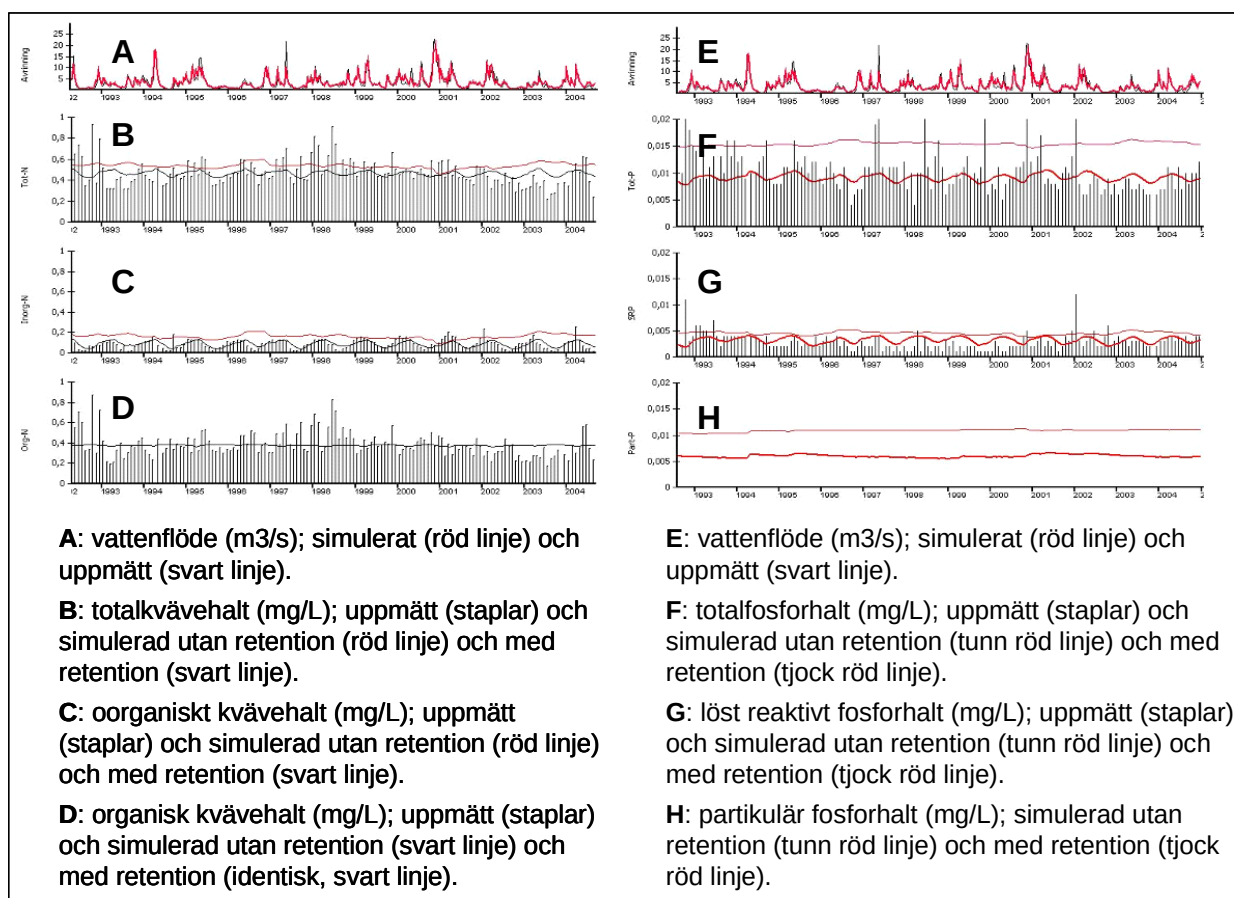
Det finns någon eller flera provtagningsplatser för kväve och fosfor i de flesta större svenska älvar och åar som används för att kalibrera och validera HBV-NP modellen (tex. http://info1.ma.slu.se/IMA/dv_program.html). Dessutom används det nationella hydrologiska stationsnätet, som består av 200 mätstationer där vattenföring mäts dagligen.

Eftersom många vattendrag och delområden saknar mätserier att jämföra modellresultaten med har man strävat efter parametervärden som kan användas i större regioner. Markretentionsparametern bestäms genom jämförelse av uppmätt och modellerad koncentration i mindre delområden utan sjöar, med mycket jordbruksmark och bara mindre punktkällor. Parameterns värde läggs fast för större regioner och används sedan, utan att ändras, vid kalibrering av sjöarnas parametrar. Kalibreringen sker alltså stegvis så att parametern för markretentionen låses innan sjöarnas parametrar kalibreras. I tillämpningen för hela Sverige räknas inte åfårens retention ut separat eftersom mycket få delområden saknar sjöar och sjöretentionen är helt dominerande (Arheimer och Brandt, 1998).

Även sjöarna kalibreras så att parametervärdena gäller för regioner eftersom mätningar inte finns för alla enskilda sjöar. Ibland kan samma parametervärden vara lämpliga för en hel älv, men ofta är sjöar biogeokemiskt olika och kan behöva olika parametervärden även inom samma avrinningsområde. Oorganiskt kväve och löst reaktivt fosfor (SRP)

ställs in först (om mätningar av dessa fraktioner finns). Först därefter kalibreras organiskt kväve och partikulärt fosfor (Part-P) alternativt totalkväve och totalfosfor om dessa fraktioner saknar mätningar.

Figur 8 visar simulering av vattenflödet (översta graferna) och halterna av kväve (till vänster) och fosfor (till höger) för de olika fraktionerna. Före kalibrering var de simulerade halterna av oorganiskt kväve (Inorg-N), totalkväve (Tot-N), löst reaktivt fosfor (SRP), partikulärt fosfor (Part-P) och totalfosfor (Tot-P) högre än de uppmätta (Fig. 8 B-C, F-H). Genom att justera parametervärdena för retention/produktion i sjöarna ställs de simulerade halterna in tills de liknar den uppmätta. Visuell bedömning av grafer likt de i figuren nedan används för att avgöra bästa parametervärdena.



Figur 8. HBV-NP beräkning av vattenföring och halt i Arbogaån (station Kringlan) med respektive utan retention av kväve och fosfor.

Figure 8. Result from calculation of discharge and concentration with HBV-NP in Arbogaån River (monitoring station Kringlan) with and without retention of nitrogen and phosphorus.

Validering av resultaten görs genom att visuellt jämföra simulerad och uppmätt halt på mätplatser som inte har kalibrerats, samt för en tidsperiod som inte används vid kalibrering. Validering görs också genom att jämföra transporten som beräknats med

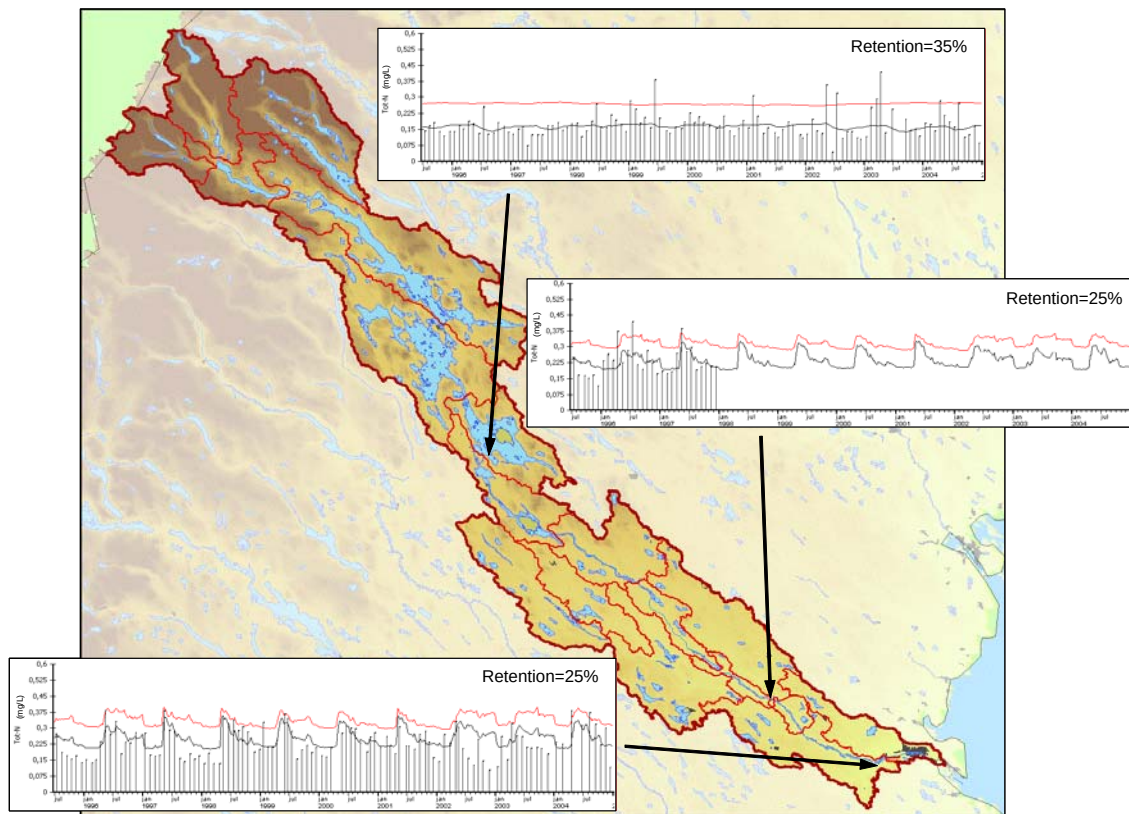
HBV-NP med uppmätt transport för flodmynningar. Statistiska kriterier som används vid bedömningen är förklarad varians (R^2 , Nash and Sutcliffe, 1970) för vattenföring, närsalthalt och transport, samt ME (relativt medelabsolutfel) för halter och transport.

Slutsats: I Sverige har man utvecklat ett modellsystem för storskalig beräkning av transport av kväve och fosfor från land till hav med relativt hög geografisk upplösning. Systemet kopplar fältskalemodeller med avrinningsmodeller, är vetenskapligt dokumenterat och granskat och har tillämpats storskaligt sedan 1997 för internationell rapportering till HELCOM. Avrinningsområdesmodellen (HBV-NP) justeras och utvärderas mot mätningar där sådana finns.

Hur stor är kväveretentionen i svenska vattendrag och sjöar?

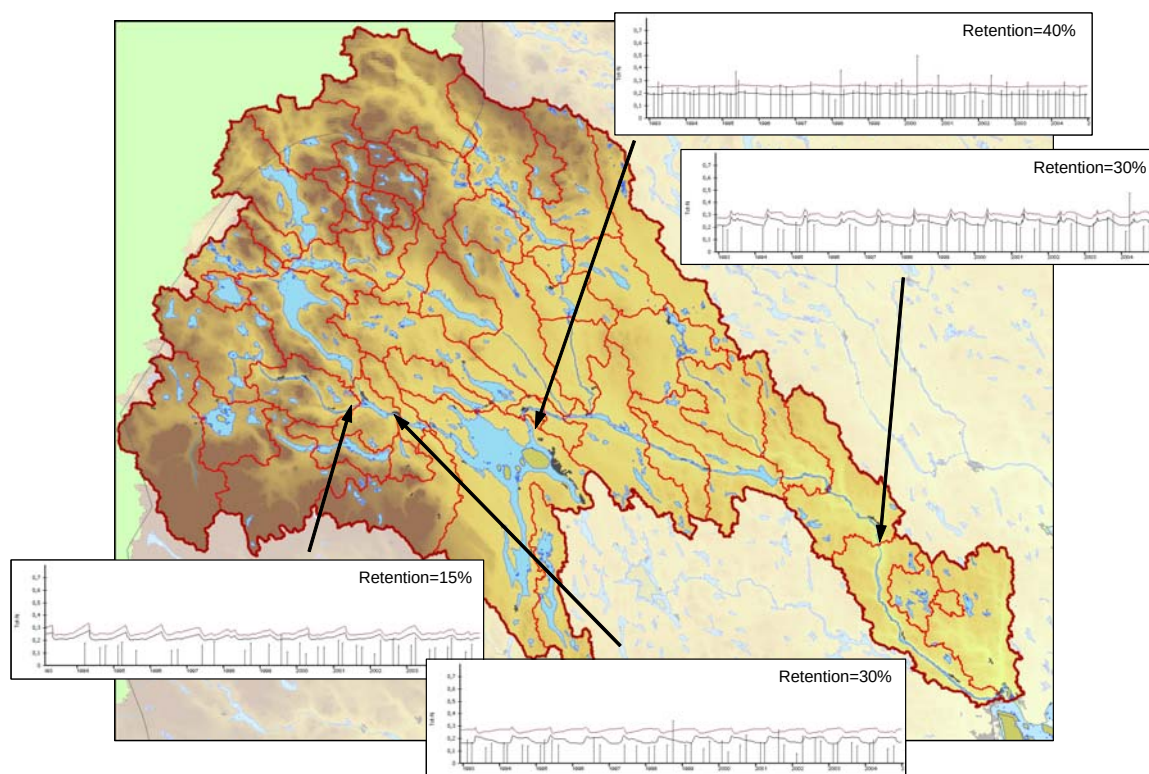
I tillämpningen av HBV-NP för hela Sverige beräknas genomsnittlig retention för vart och ett av de 1000 delområden (vardera ca 400-700 km²) som täcker Sveriges yta. Direkta kväveutsläpp (ex. från reningsverk) och markläckage utgör tillsammans bruttobelastningen i modellen. Retentionen beräknas med hjälp av de ekvationer som ingår och de parametervärden som kalibrerats fram genom jämförelse med mätdata för likvärdiga regioner. Den resterande kvävetransporten vid vattendragens utlopp till havet benämns nettobelastning.

Modellen levererar tidsserier med dygnsvärden för samtliga 1000 beräkningsområden. Nedan visas hur resultatet ser ut med respektive utan beräknad retention för några punkter längs vattendragen i våra exempelområden. Även observerad kvävehalt visas för att ge en uppfattning om modellens trovärdighet. Kväveretentionens storlek varierar i tiden och är störst på sommaren, speciellt i sjörika områden med hög belastning (Fig. 9-12).



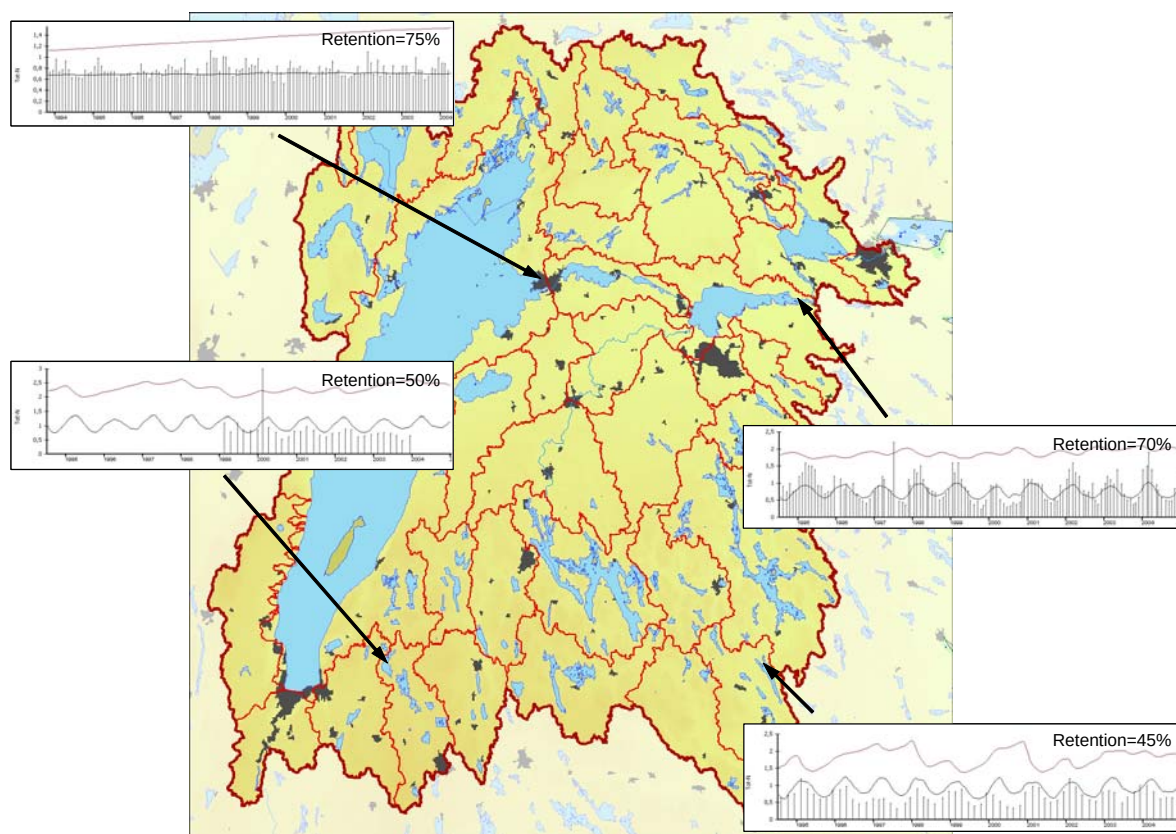
Figur 9. Modellerad bruttohalt av totalkväve, dvs. efter blandning från samtliga källor (röd linje) och modellerad halt efter retention i sjöar och vattendrag (svart linje) samt uppmätt halt (staplar) i några mätpunkter längs Skellefteälven. Angiven retention är skillnaden i transport mellan de två simuleringarna (linjerna).

Figure 9. Modelled gross concentration of total nitrogen, i.e. mixing of all sources (red line), modelled concentration after retention in lakes and rivers (black line), and measured concentration (bars) in some monitoring sites along the Skellefteälven River. The retention is the difference in transport between the two simulations (lines).



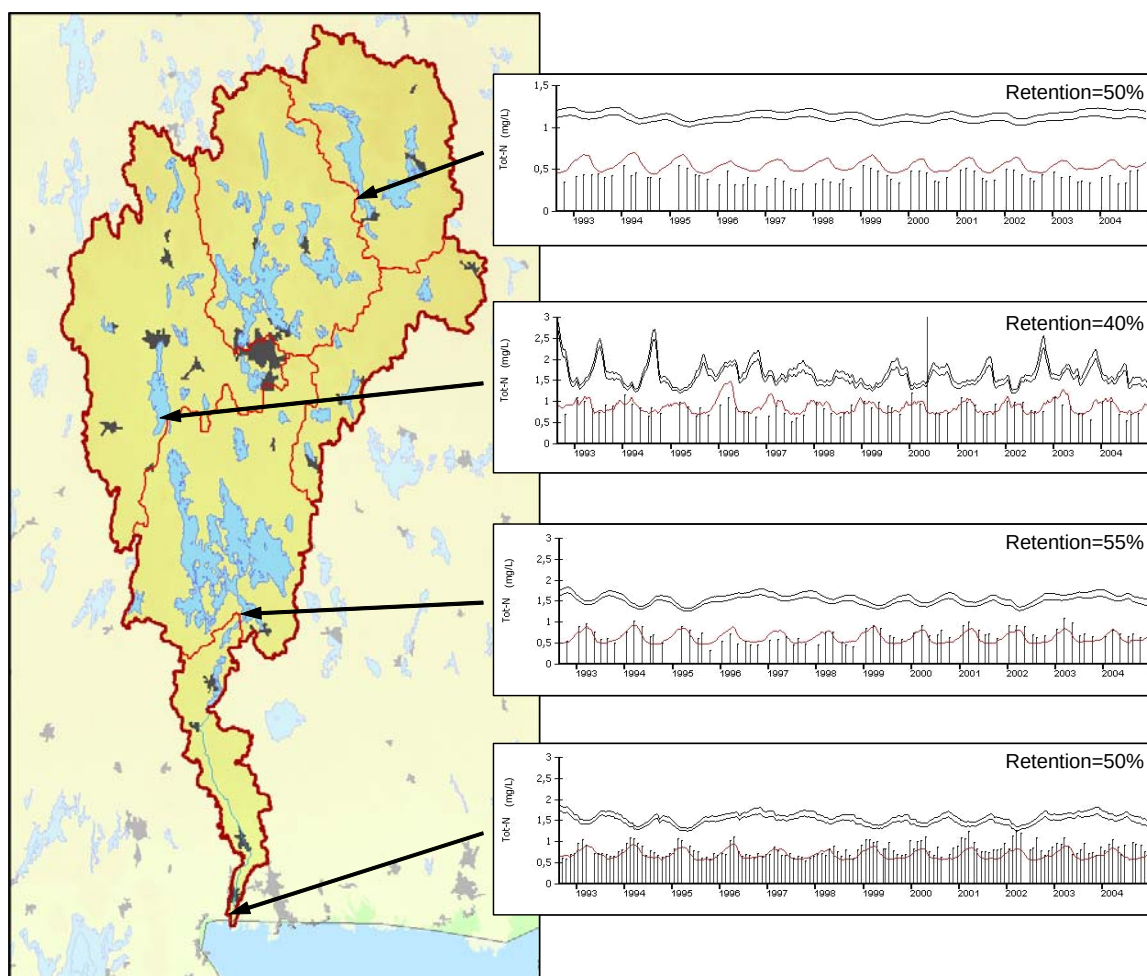
Figur 10. Modellerad bruttohalt av totalkväve, dvs. efter blandning från samtliga källor (röd linje) och modellerad halt efter retention i sjöar och vattendrag (svart linje) samt uppmätt halt (staplar) i några mätpunkter i Indalsälvens avrinningsområde. Angiven retention är skillnaden i transport mellan de två simuleringarna (linjerna).

Figure 10. Modelled gross concentration of total nitrogen, i.e. mixing of all sources (red line), modelled concentration after retention in lakes and rivers (black line), and measured concentration (bars) in some monitoring sites along the Indalsälven River. The retention is the difference in transport between the two simulations (lines).



Figur 11. Modellerad bruttohalt av totalkväve, dvs. efter blandning från samtliga källor (röd linje) och modellerad halt efter retention i sjöar och vattendrag (svart linje) samt uppmätt halt (staplar) i några mätpunkter i Motala ströms avrinningsområde. Angiven retention är skillnaden i transport mellan de två simuleringarna (linjerna).

Figure 11. Modelled gross concentration of total nitrogen, i.e. mixing of all sources (red line), modelled concentration after retention in lakes and rivers (black line), and measured concentration (bars) in some monitoring sites in the catchment of Motala ström River. The retention is the difference in transport between the two simulations (lines).

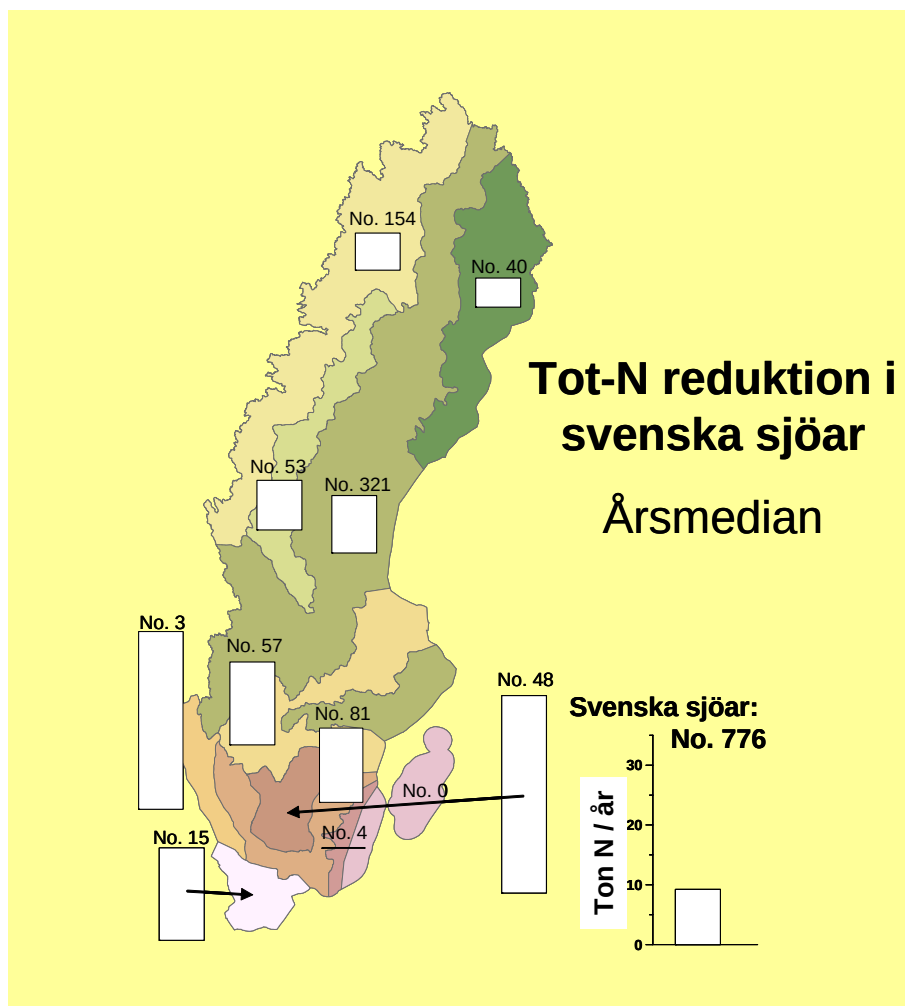


Figur 12. Modellerad bruttohalt av totalkväve, dvs. efter blandning från samtliga källor (övre svarta linjen), modellerad halt efter retention i mark-/grundvatten (nedre svarta linjen), och modellerad halt efter retention i sjöar och vattendrag (röd linje), samt uppmätt halt (staplar) i några mätpunkter i Mörrumsåns avrinningsområde. Angiven retention är skillnaden i transport mellan de två simuleringarna (svarta och röda linjerna).

Figure 12. Modelled gross concentration of total nitrogen, i.e. mixing of all sources (upper black line), modelled concentration after retention in the ground (lower black line), modelled concentration after retention in lakes and rivers (red line), and measured concentration (bars) in some monitoring sites in the catchment of Mörrumsån River. The retention is the difference in transport between the two simulations (black and red lines).

Beräkningar av retentionen i 776 sjöar från olika regioner i Sverige redovisas i figur 13. Resultaten visar att ca 10 ton kväve årligen avskiljs på naturlig väg i en genomsnittlig svensk sjö. Variationen mellan regioner och enskilda sjöar är dock stor och vissa sjöar uppvisar betydligt högre kväveavskiljning. Medelvärdet för alla sjöar är därför högre, ca 40 ton kväve per år. Detta motsvarar i södra Sverige en medelreduktion på 30-40 kg ha⁻¹ sjö år⁻¹ (Arheimer & Brandt, 1998). De flesta svenska sjöarna är näringsfattiga och ligger i norra delen av landet där kvävehalterna är relativt låga, liksom temperaturen, medan vattenföringen är hög (se Appendix A). Kväveretentionen i dessa sjöar är därför relativt låg (Fig. 13). I de södra delarna av landet är sjöarna betydligt effektivare som

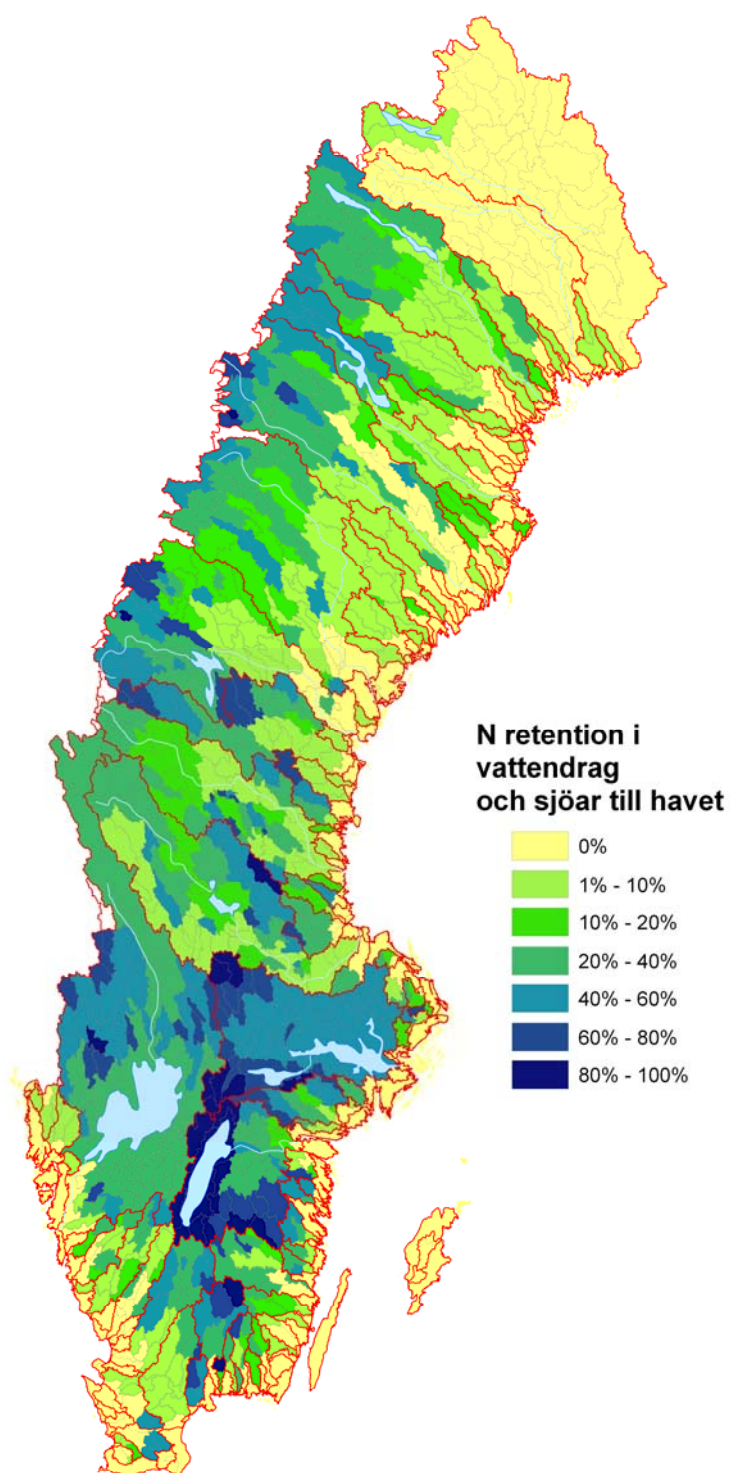
kvävesänkor, pga. mer gynnsamma förhållanden för denitrifikation, växtupptag och sedimentation. Totalt i Sverigetillämpningen (PLC-4) var sjöretentionen 30 000 ton kväve per år, varav 70% skedde i södra Sverige (Uppland-Vänern och söder därom).



Figur 13. Genomsnittlig årsretention (avskiljning) av kväve i svenska sjöar för olika naturgeografiska regioner. Mängderna baseras på HBV-N modellen och TRK-tillämpningen för PLC-4. (No.=antalet sjöar i modellen. Staplarnas höjd avläses mot skalan till höger, som anger riksgenomsnittet)

Figure 13. Annual average retention (median) of nitrogen in Swedish lakes for different regions based on physical geography. The amount is based on the HBV-N model and the TRK application for PLC-4. (No.=number of lakes. The height of the bars is read against the scale to the right, which shows the median of the whole country)

För ett utsläpp som sker i inlandet reduceras bidraget till havet kraftigt under transporten genom vattendrag och sjöar, speciellt för sydcentrala Sverige där retentionen i sjöarna är hög. I vissa delar där utsläpp passerar flera effektiva kvävefällor uppskattas retention genom denna naturliga kväveavskiljning till >80% (Fig. 14). För Norrlands inland är retentionen dock sällan högre än 15%.



Figur 14. Karterad kväveretention (avskiljning) i sjöar och vattendrag mellan utsläppsplatsen och havet, baserat på HBV-NP modellen och TRK-systemet (PLC-5). Preliminära resultat.

Figure 14. Calculated nitrogen retention (removal) in lakes and rivers between the outlet site and the sea based on the HBV-NP model and the TRK system (PLC-5). Preliminary results.

Slutsats: Kväveretentionen är störst på sommaren, speciellt i sjörika områden med hög belastning. Det är stor skillnad i sjöars retentionskapacitet; i norra delarna av landet är den låg medan sjöarna i de södra delarna av landet är betydligt effektivare som kvävesänkor. I södra Sverige är medelreduktionen 30-40 kg ha⁻¹ sjö år⁻¹. Totalt reduceras ca 30 000 ton kväve per år i sjöar och vattendrag, varav 70% i södra Sverige. För enskilda utsläpp som sker i inlandet reduceras bidraget till havet kraftigt under transporten genom vattendrag och sjöar, speciellt för sydcentrala Sverige där retentionen i sjöarna är hög. Den ackumulerade effekten är >80% för utsläpp i vissa områden.

Kan man lita på retentionsberäkningarna?

Kväveretentionen går inte att mäta direkt och är därför svår att utvärdera. Den beräknade sjöretentionen ligger dock på rimliga nivåer jämfört med tidigare fältmätningar av denitrifikation i sediment i svenska sjöar (Arheimer & Brandt, 1998). Modellens trovärdighet avgörs normalt av hur andra variabler överensstämmer med mätdata. HBV-NP modellens resultat utvärderas kontinuerligt mot tidsserier av observationer i vattendrag, både för vattenföring och närsalthalt, när den används operationellt. Modellen justeras mot halva mätperioden under kalibreringen och utvärderas därefter mot oberoende data för resten av mätserien. Vid utvärdering kontrolleras modellresultaten i oberoende mätstationer som inte tagits med vid kalibreringen. Proceduren som används operationellt i Sverige är något strängare än vad som brukar förekomma även i vetenskaplig litteratur för motsvarande tillämpningar.

Osäkerheter uppskattas både via statistiska beräkningar och visuellt. Dessutom görs jämförelser med andra studier och metoder. Det finns dock inga andra mätprogram eller studier som är heltäckande med samma upplösning som i TRK. Jämförelser måste därför göras för stickprov av enskilda områden eller aggregerat för hela flodområden.

Modellen har utvärderats internationellt i olika sammanhang (bl.a. inom EUROHARP) och har likvärdiga eller bättre prestanda än andra motsvarande modeller (Schoumans & Silgram, 2003). Även utan kalibrering lyckades modellen producera trovärdiga resultat för ett antal områden i s.k. 'blind tester' (se nedan). För vattenföringsberäkningar har HBV modellen visat sig vara något bättre i jämförelse med andra modeller i internationella tester mot oberoende data (Viney m.fl., 2005).

Statistisk analys

En statistisk analys av resultat från 70 mätpunkter som representerar olika stora områden i tillämpningen för PLC-4 återfinns i Tabell 2. I genomsnitt är överensstämmelsen mellan modell och mätningar god för vattenföring och volymfelet är normalt <10%. För kvävehalten i vattnet har överensstämmelsen angivits som relativt medelabsolutfel (ME), eftersom bara sporadiska observationer av halt finns och mätseriernas längd och amplitud varierar kraftigt. Nash & Sutcliffe (1970) R² anger hur väl modellen förklarar resultatens

variation runt medelvärdet i en enskild punkt och för att jämföra R^2 mellan punkter bör mätserierna vara av samma karaktär. ME anger absolut avvikelse från observation i förhållande till observerad medelhalt. På så sätt får man en uppfattning om felets storlek vilket inte R^2 ger. I norra Sverige är totalkvävekoncentrationen oftast <1 mg N/L, bara i vissa kustnära områden är den högre. I södra Sverige är halterna <1 för skogsbygderna i Värmland och centrala Småland, medan i övrigt är halterna 1-2 mg N/L. I jordbruksintensiva områden (tex. Skåne, Västgötaslätten) är halterna ofta 2-4 mg N/L, men ibland ännu högre. I ett europeiskt perspektiv är dessa halter låga. I genomsnitt är avvikelsen 30% för modellerad kvävehalt (Tabell 2).

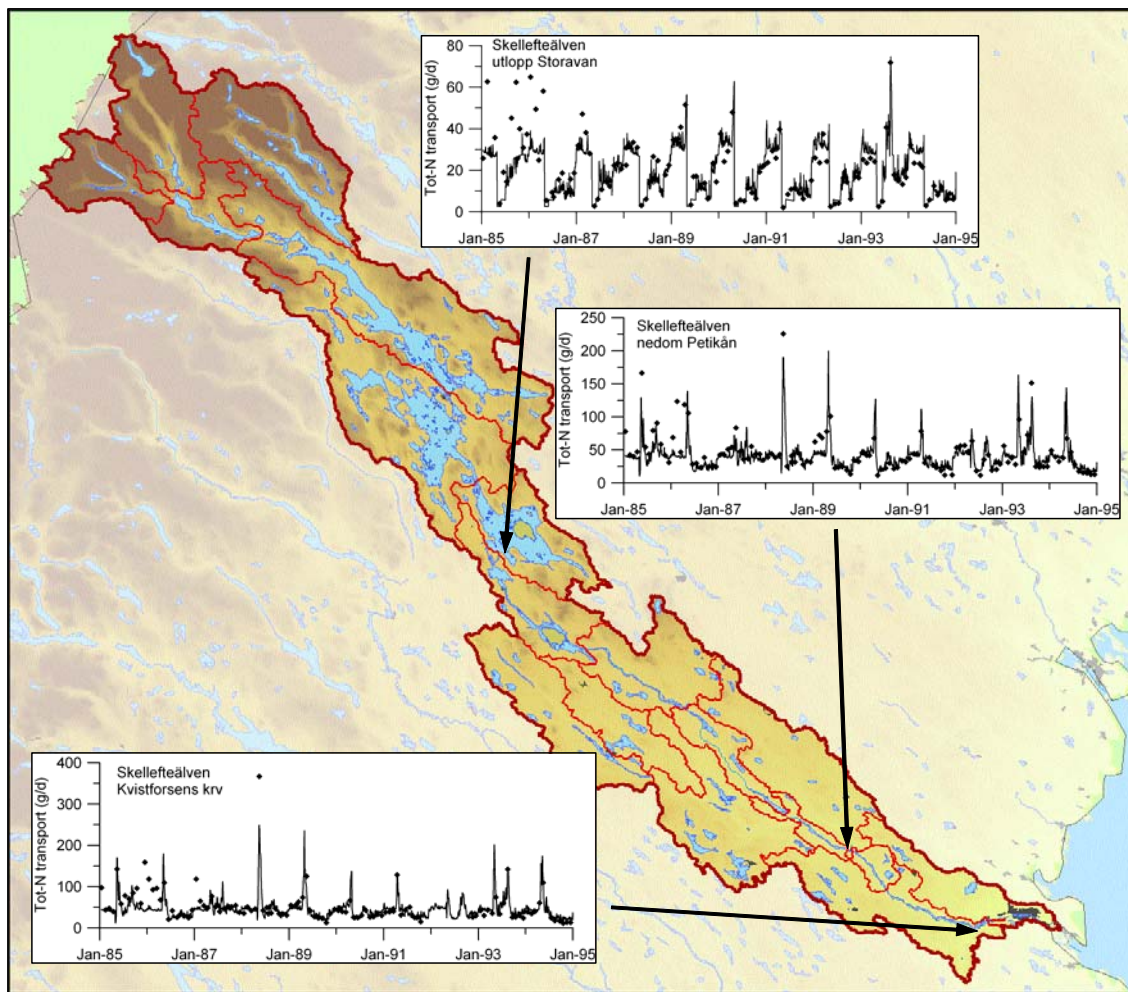
Tabell 2. Statistisk utvärdering av modellerad vattenföring och kvävehalt (mg/L) när HBV-NP modellen tillämpades i hela landet inom TRK-systemet för PLC-4. R^2 enligt Nash & Sutcliffe, 1970.

Table 2. Statistic evaluation of modelled discharge and nitrogen concentration (mg/L) from the HBV-NP model application for whole Sweden in the TRK system for PLC-4. R^2 according to Nash & Sutcliffe, 1970.

70 Mätstationer:	Vattenföring R^2	Totalkvävehalt ME
Median	0,76	0,29
Medel	0,70	0,32

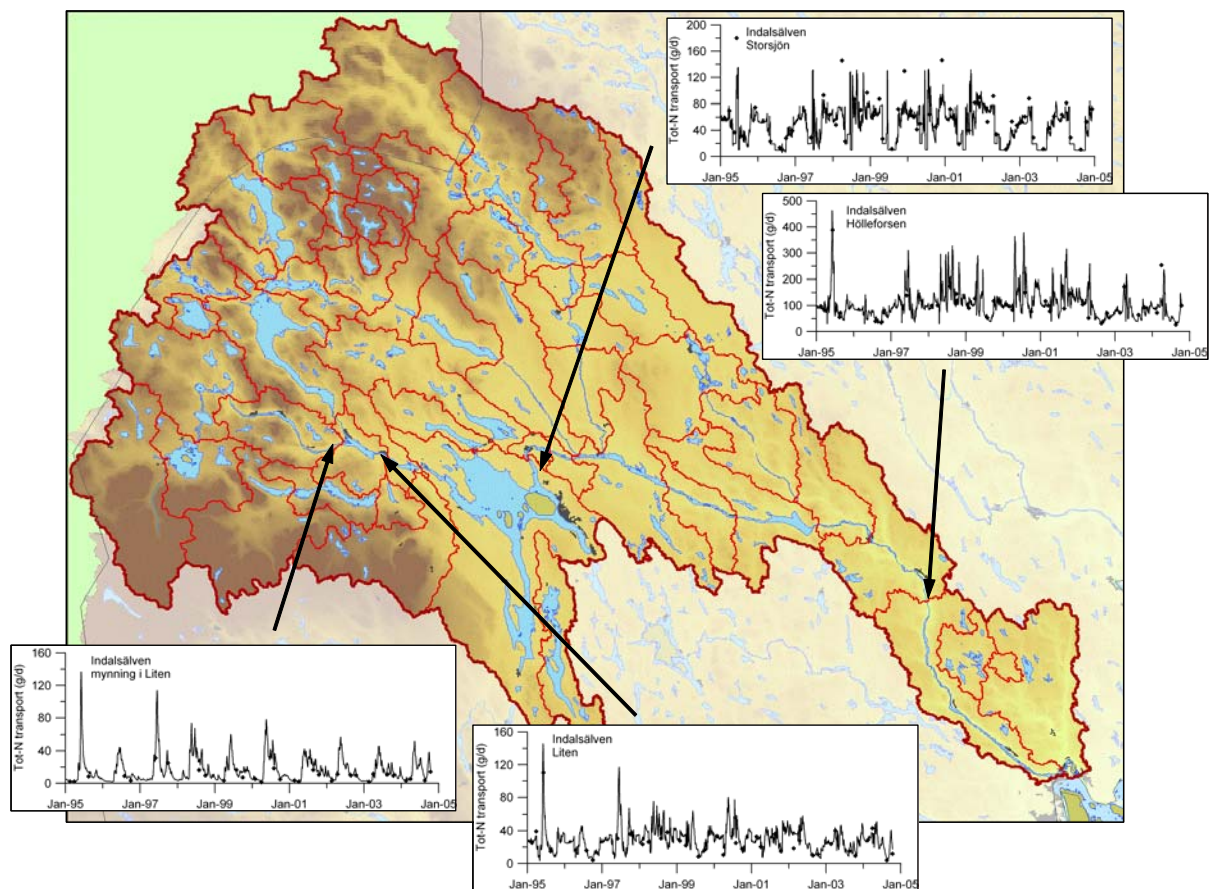
Visualisering

Bedömningen av modellens trovärdighet görs ofta kvalitativt genom visualisering i grafer. I de fyra figurer som följer här visas exempel på överensstämmelsen mellan beräknad och uppmätt kvävetransport längs vattendraget för våra utvalda avrinningsområden (Fig. 15-18).



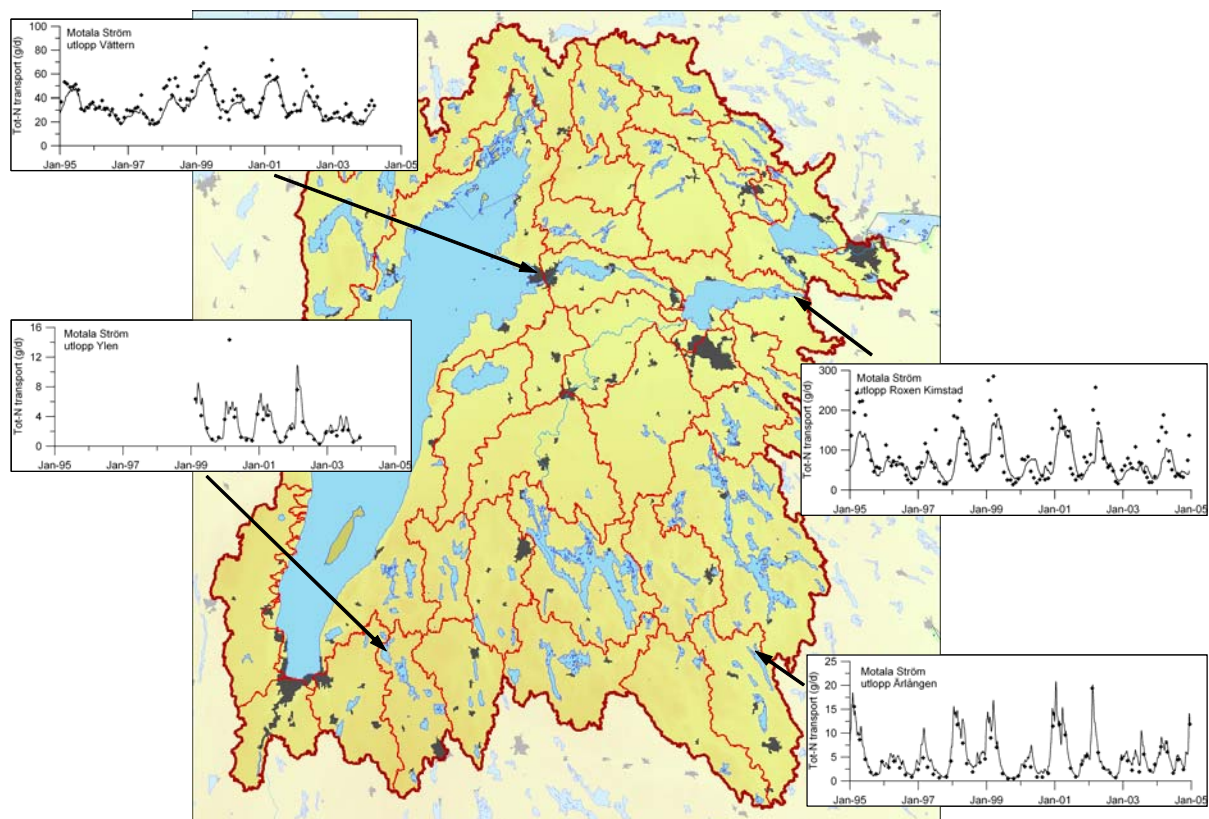
Figur 15. Daglig modellerad kvävetransport enligt HBV-NP modellen (linje) och daglig observerad transport (punkter) i några mätplatser längs Skellefteälven.

Figure 15. Daily modelled nitrogen transport according to the HBV-NP model (line) and daily observed transport (points) for some monitoring sites along the Skellefteälven River.



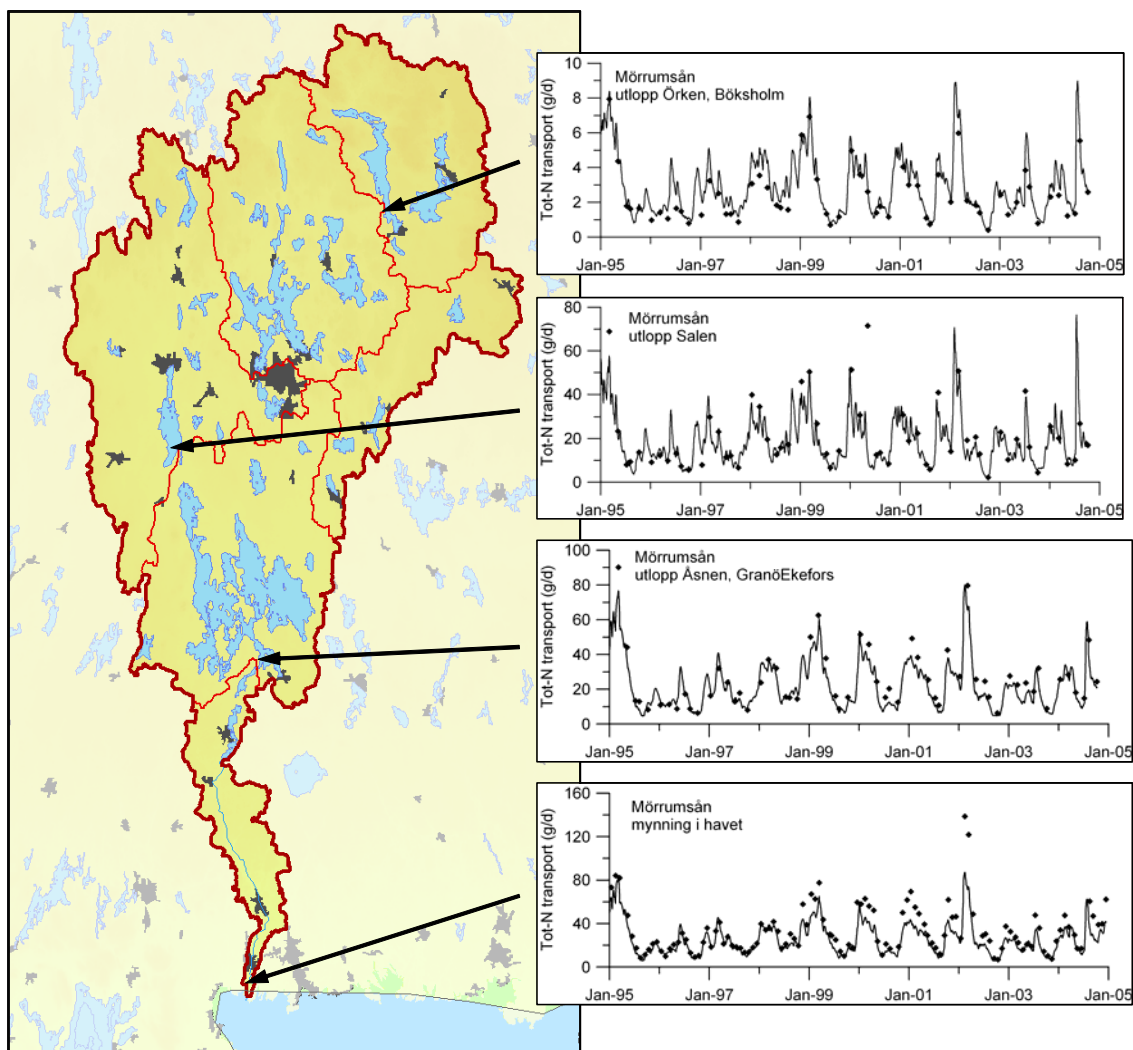
Figur 16. Daglig modellerad kvävetransport enligt HBV-NP modellen (linje) och daglig observerad transport (punkter) i några mätplatser i Indalsälvens avrinningsområde.

Figure 16. Daily modelled nitrogen transport according to the HBV-NP model (line) and daily observed transport (points) for some monitoring sites in the catchment of Indalsälven River.



Figur 17. Daglig modellerad kvävetransport enligt HBV-NP modellen (linje) och daglig observerad transport (punkter) i några mätplatser i Motala ströms avrinningsområde.

Figure 17. Daily modelled nitrogen transport according to the HBV-NP model (line) and daily observed transport (points) for some monitoring sites in the catchment of Motala ström River.



Figur 18. Daglig modellerad kvävetransport enligt HBV-NP modellen (linje) och daglig observerad transport (punkter) i några mätplatser i Mörrumsåns avrinningsområde.

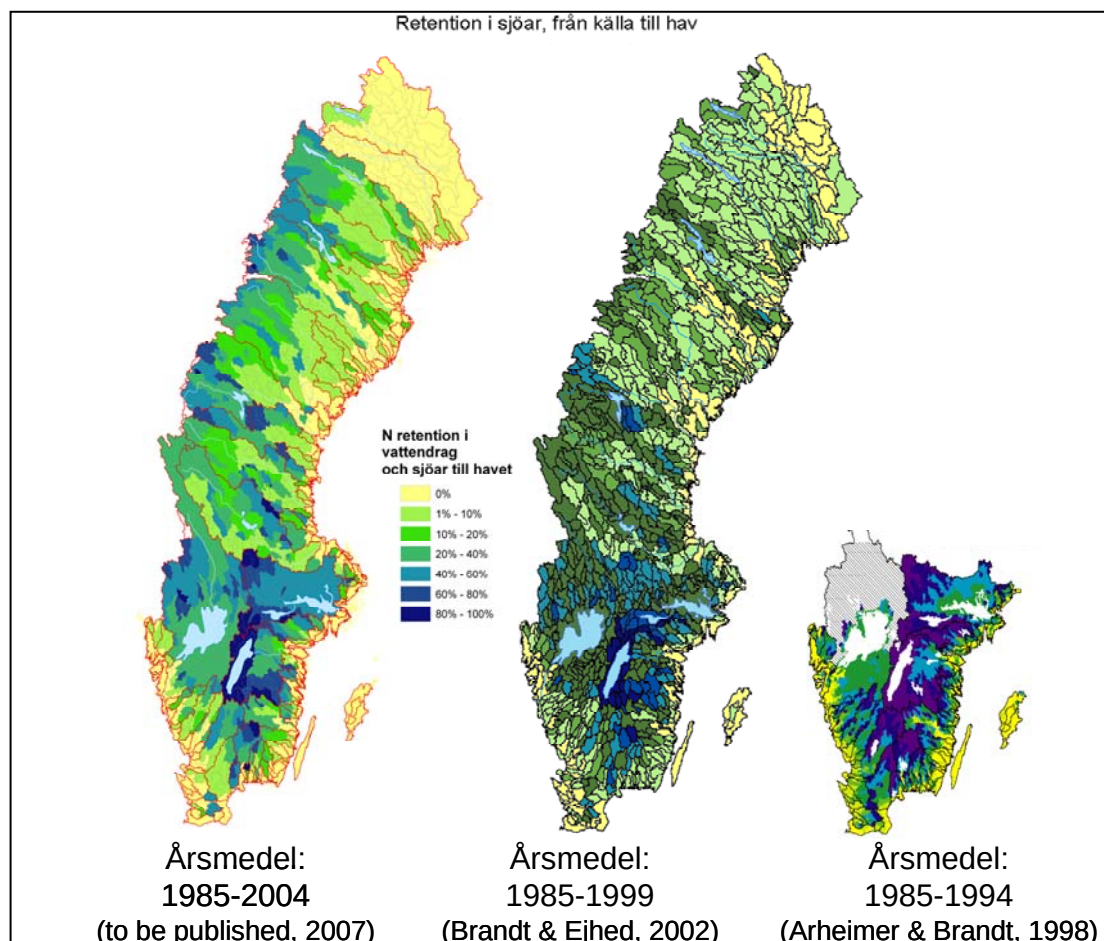
Figure 18. Daily modelled nitrogen transport according to the HBV-NP model (line) and daily observed transport (points) for some monitoring sites in the catchment of Mörrumsån River .

Känslighetsstudier

Modellens känslighet kan undersökas genom att jämföra resultat från tillämpningar med olika indata, parametervärden eller drivdata. Modellen har i tidigare studier visat sig vara relativt robust mot ändringar i markdata för större områden (Andersson m.fl., 2005) och för olika kalibreringskriterier (Lindström m.fl., 2005).

En uppfattning om hur stabila retentionsresultaten är under ändrade förhållanden kan fås genom att jämföra resultat från olika tillämpningar med HBV-NP för Sverige. I Figur 19 visas retentionen i vattendrag och sjöar på kväveutsläpp från ett delområde till havet från tre sådana tillämpningar. Det stora mönstret över Sverige är likartat och det syns tydligt

att retentionen är hög för utsläpp uppströms stora sjöar. För enskilda delområden kan skillnaden i retention dock vara stor mellan olika tidsperioder och olika kvävebelastning. För ett område i södra Sverige uppskattades att retentionen har ökat från 20% till 30% pga. mänskliga utsläpp jämfört med naturliga bakgrunds nivåer (Arheimer m.fl., 2005).

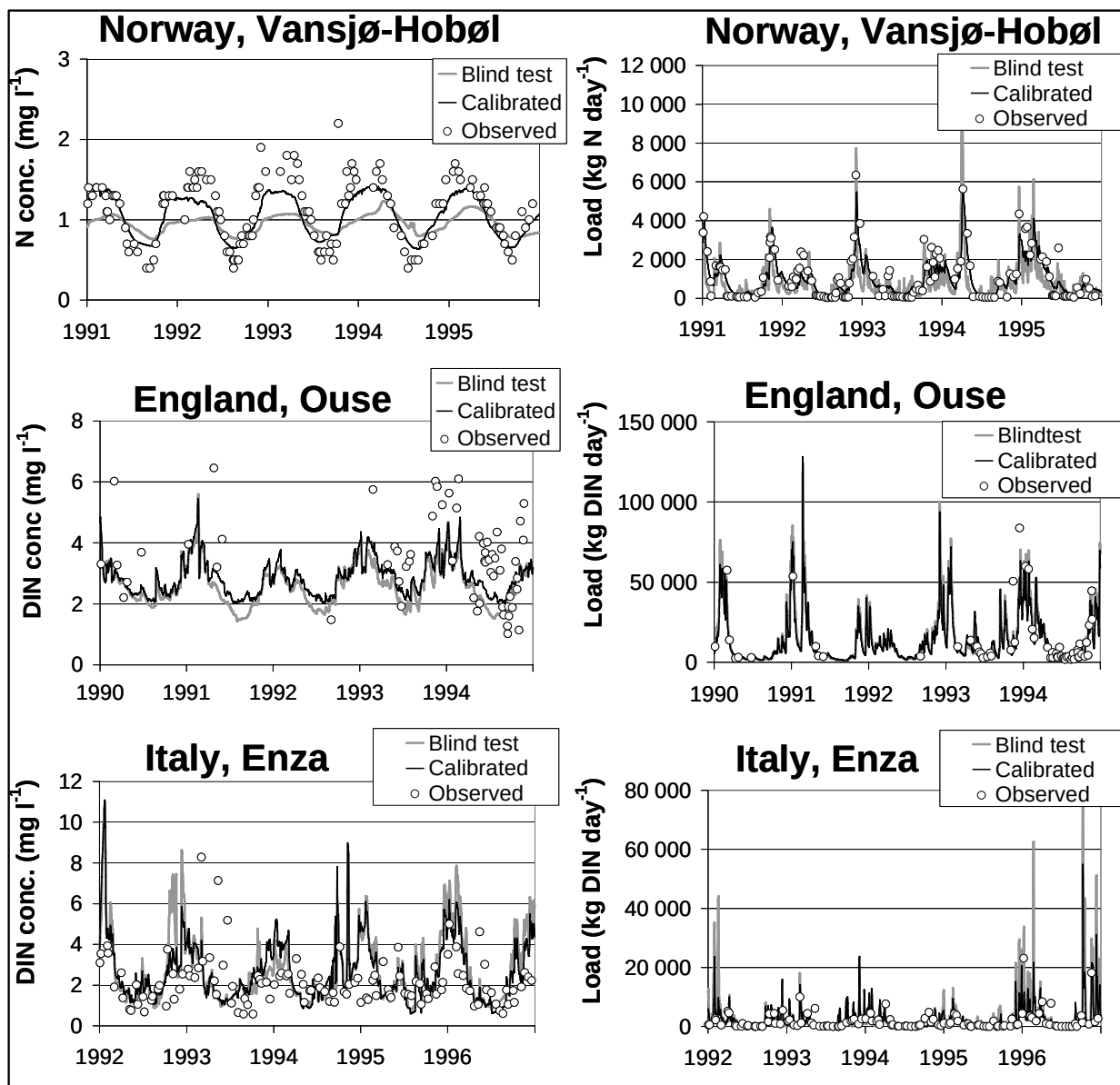


Figur 19. Kväveavskiljning i svenska vattendrag och sjöar mellan utsläppspunkten och utsläppet till havet, beräknat med HBV-N modellen för tre olika tidsperioder och tre utsläppsnivåer enligt TRK-systemet.

Figure 19. Nitrogen retention in Swedish lakes and rivers between the outlet site and the sea calculated with the HBV-N model for three different time periods and three emission levels, according to the TRK system.

Inom EU-projektet EUROHARP utfördes ett antal s.k. blindtester för att undersöka modellernas känslighet för kalibrering och förmåga att beräkna kvävetransport. Modellerna tillämpades utan tillgång till några mätdata, varken av vattenföring eller kvävehalt, för obekanta områden i Europa. Därefter fick modellerarna tillgång till mätserier och kalibrerade sina modeller. HBV-NP visade sig vara relativt robust, dvs. resultaten förändrades inte nämnvärt av kalibrering utan *a-priori* värden för retentionsprocesserna gav ungefär samma resultat (Fig. 20). Detta styrker det svenska

argumentet att modellen klarar att göra trovärdiga bedömningar med hög areell upplösning även för områden utan mätningar.



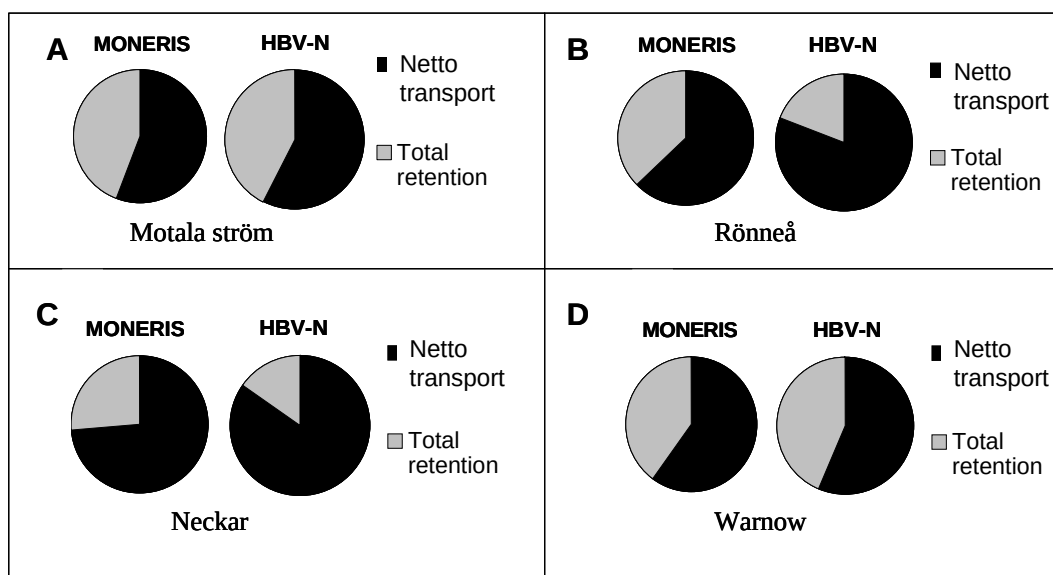
Figur 20. Resultat från s.k. 'blindtester' som utfördes inom EU-projektet EUROHARP i tre europeiska områden. Modellering har skett först utan tillgång till mätdata (Blind test), därefter har modellen kalibrerats (Calibrated) mot uppmätt vattenföring och kvävehalt (Observed).

Figure 20. Results from so called 'blind tests' performed within the EU-project EUROHARP for three European catchments. Simulation has first been done without access to observations (Blind test), thereafter the model has been calibrated (Calibrated) against observed discharge and nitrogen concentration (Observed).

Andra modeller

Ett sätt att bedöma osäkerheten i modeller är att jämföra resultat från olika modeller. Många forskare förespråkar idag s.k. ensemble modellering, där ett genomsnittligt värde baserat på flera olika modeller används i beslutsunderlag. Detta är vanligt inom prognosverksamhet och klimatstudier.

Kvävemodellering med HBV-NP har jämförts med andra modeller vid flera tillfällen, bl.a. i Matsalu River (Lidén m.fl., 1999) och inom EU-projektet EUROHARP för flera europeiska områden. Figur 21 visar resultat för 4 områden baserade på samma indata men olika modellkoncept, HBV-NP respektive MONERIS. Största skillnaden i uppskattad retention antas bero på olika sätt att definiera ytvatten i modellerna. MONERIS tar explicit hänsyn till processer i åfåran, vilket inte HBV-NP gör i TRK-tillämpningen. Retentionen blir därför större med MONERIS modellen i områden med få sjöar, såsom Neckar och Rönneå i exemplet nedan.

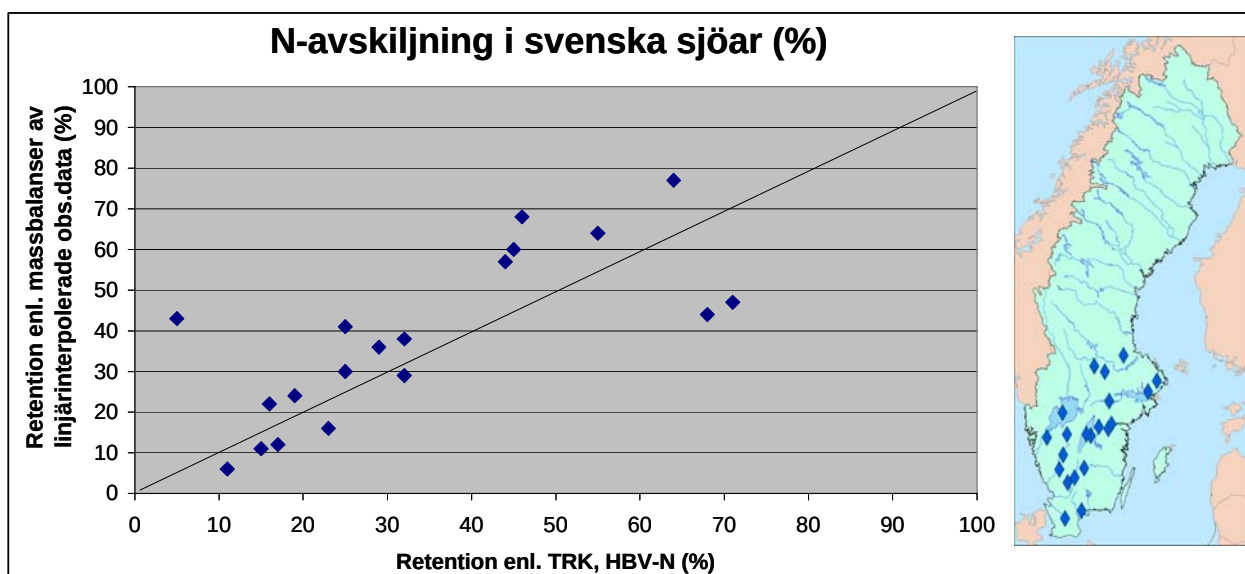


Figur 21. Kväveretention i två avrinningsområden i Sverige (Motala ström och Rönneå) och två i Tyskland (Neckar och Warnow) beräknat med HBV-NP modellen respektive MONERIS-modellen. (Modifierad från Fogelberg m.fl., 2004)

Figure 21. Nitrogen retention for two catchments in Sweden (Motala ström and Rönneå) and two in Germany (Neckar and Warnow) calculated with the HBV-NP model and the MONERIS model, respectively. (Modified from Fogelberg et al., 2004)

Tidigare studier med andra metoder och data

Osäkerhet i retentionsberäkningarna med modellen kan studeras genom att jämföra modellresultat med massbalanser (budgetberäkningar) för specifika sjöar. Figur 22 visar en jämförelse för 21 sjöar mellan budgetberäkningar och HBV-NP resultat från PLC-4 beräkningarna. Budgetberäkningarna är baserade på linjärinterpolation av uppmätt halt och vattenföring i inflöden och utflöden för vissa år. HBV-NP resultaten är dock medelvärden över en längre tidsperiod (1985-1999). Figuren visar ett tydligt samband mellan de två metodernas retention och skillnaden är oftast mindre än 20 procentenheter, men ett fåtal ligger på upp till 30 procentenheter och en över 30 procentenheter. HBV-NP underskattar kväveretentionen något jämfört med massbalanserna.



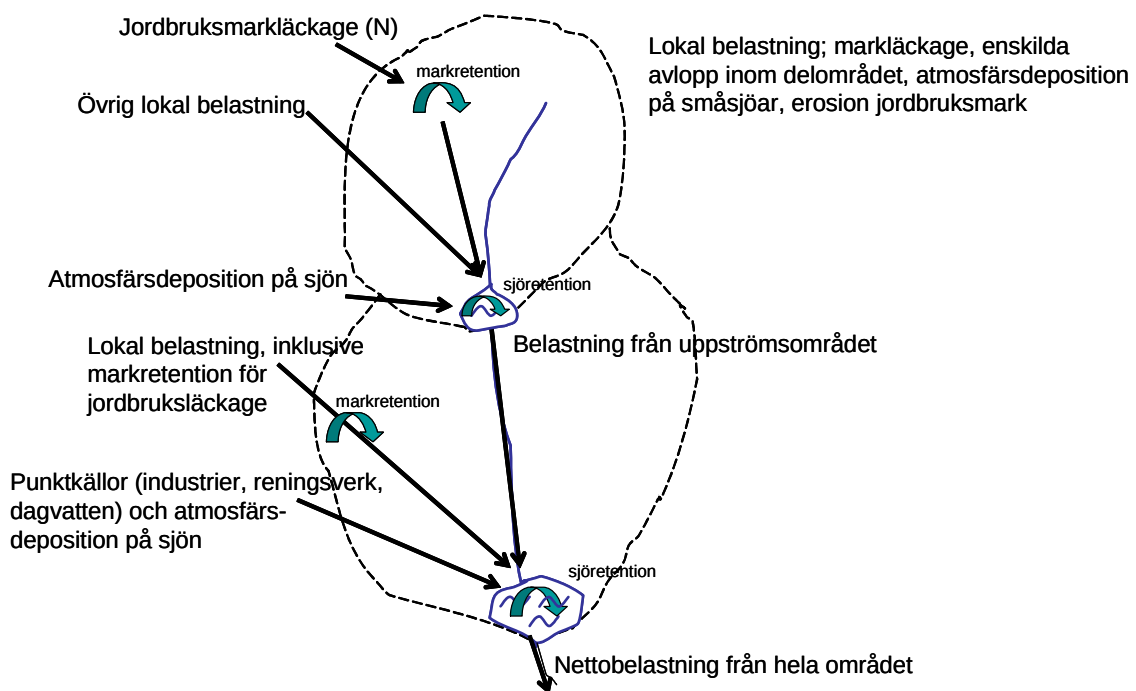
Figur 22. Jämförelse av beräknad kväveretention för enskilda svenska sjöar. Massbalanser baserade på linjärinterpolation av uppmätt data för olika tidsperioder jämförs med medelvärden från HBV-NP i TRK-tillämpningen (PLC-4) för 1985-1999.

Figure 22. Comparison of calculated nitrogen retention for specific Swedish lakes. Mass balances based on linear interpolation of observations for different time periods are compared with average retention from the HBV-NP model in the TRK application (PLC-4) for 1985-1999.

Slutsats: Kväveretention går inte att mäta direkt och beräkningar görs för stora areella områden. Det är därför svårt att utvärdera resultaten. Ofta används andra variabler för att bedöma trovärdigheten. HBV-NP modellens resultat utvärderas kontinuerligt mot tidsserier av observationer i vattendrag, både för vattenföring och närsalthalt när den används operationellt. Modellen utvärderas både statistiskt och visuellt. Överensstämmelsen med vattenföring och vattenbalans är normalt god, medan närsalthalterna kan avvika en del från uppmätta värden. Känslighetsstudier har visat att modellen är relativt robust. När modellens resultat jämförs med andra modeller eller enkla budgetberäkningar för sjöar uppstår avvikelser, men dessa kan normalt förklaras av olika antaganden och indata. Modellen har inte sämre precision än andra motsvarande modeller, snarare är den något bättre vad gäller vattenföring.

Hur beräknas retentionen för enskilda reningsverks utsläpp?

I HBV-NP summeras många olika utsläppskällor och bildar tillsammans närsalttransporten i vattnet. För att ta reda på de olika källornas bidrag till transporten i utloppet görs en källfördelningsberäkning. Denna fördelar kvävetransporten mellan de olika källtyperna beroende på flödesvägar och retention i de olika delområdena. Utsläppen från olika delområden och källor har tagit olika vägar till havet (Fig. 23) och har därför haft olika stor retention på vägen.

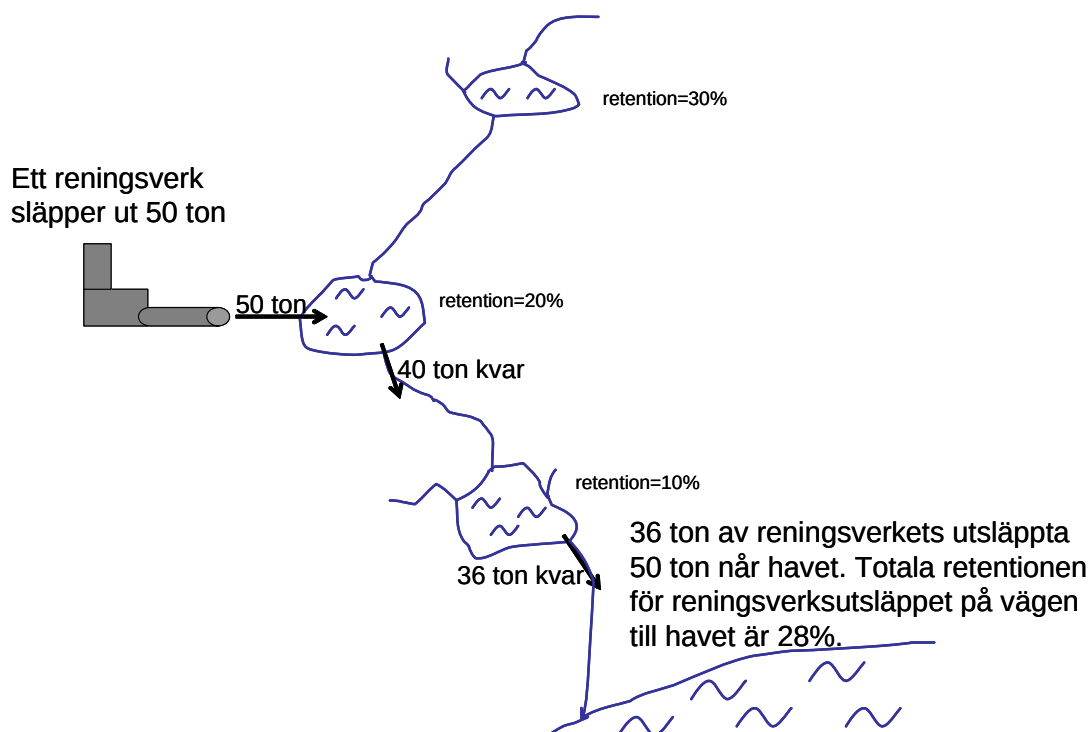


Figur 23. Flödesvägar (pilarna) som olika utsläpp och belastningar tar i ett avrinningsområde med två delområden. Retention har skett i mark (bara för kväveläckage från jordbruksmark) och sjöar (inklusive åar).

Figure 23. Pathways (arrows) for different emissions and loads in a catchment with two subbasins. Retention occurs in the groundwater (only agricultural soil leakage) and lakes (including rivers).

För att illustrera hur källfördelningen går till ges här nedan ett exempel på beräkning för ett reningsverk i ett avrinningsområde med tre delområden (Fig. 24). Reningsverket släpper ut 50 ton av en substans tex. kväve till den mellersta sjön. Denna sjö har en retention på 20% för denna substans beräknat med HBV-NP, så 40 ton av reningsverkets utsläpp kommer att gå vidare ut från sjön tillsammans med belastning från övriga källor. I

nästa sjö är retentionen 10% och reningsverksutsläppet minskar ytterligare. Den totala retentionen för reningsverksutsläppet beräknas från retentionerna längs med den väg denna källa tar till havet.



Figur 24. Räkneexempel för att illustrera hur ackumulerad retention beräknas för enskilda utsläpp som transporteras genom sjöar via vattendrag till havet.

Figure 24. Example to illustrate how accumulated retention is calculated for a single load when it is transported through lakes and rivers to the sea.

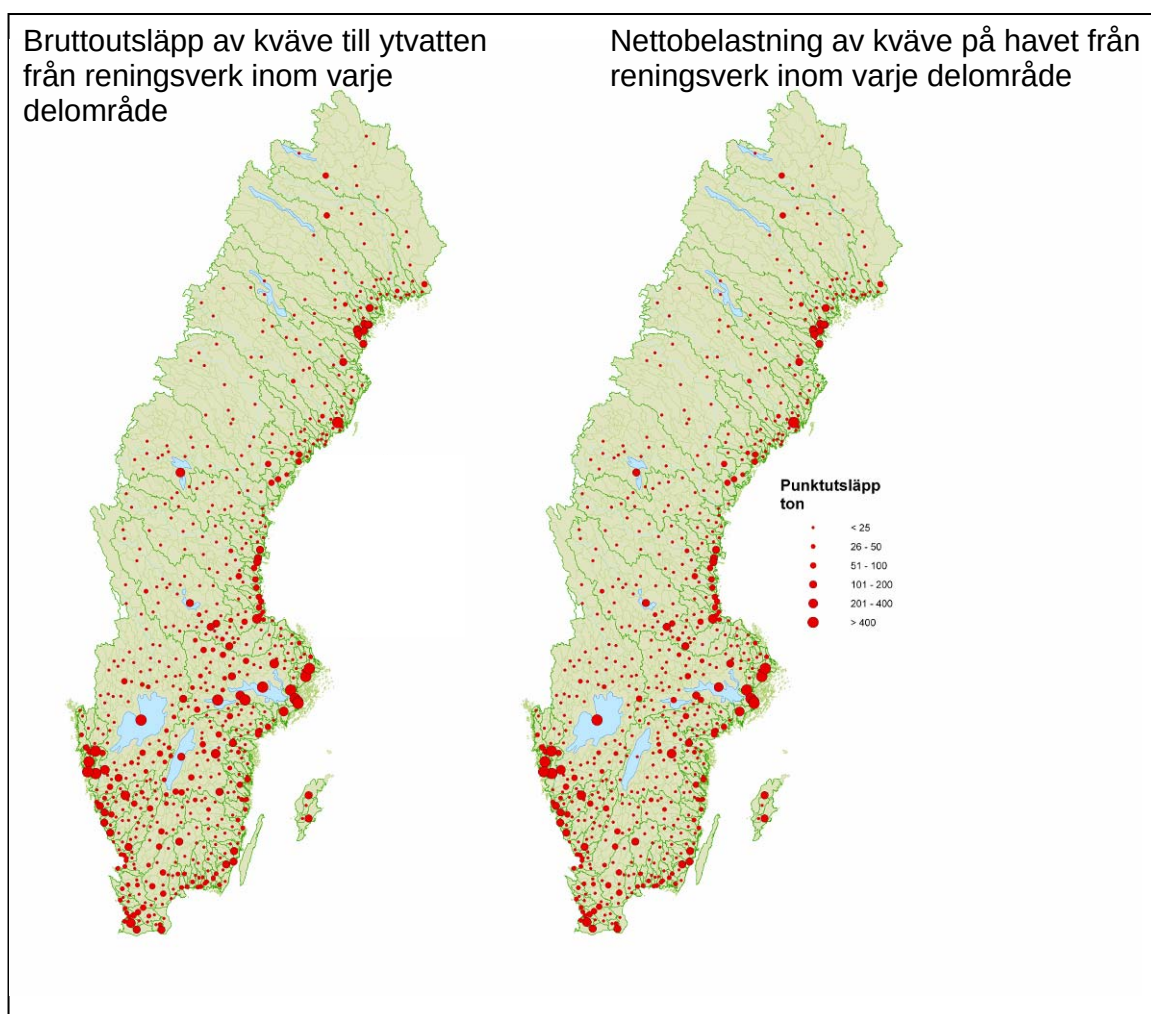
Slutsats: När man beräknar hur stor andel av kväveutsläppet från ett enskilt reningsverk som når havet ackumuleras retentionen enligt flödesvägarna i landskapet. De reningsverk vars utsläpp passerar flera sjöar får liten påverkan på havet. På motsvarande sätt kan belastningen på havet beräknas för andra källor för att få en fullständig källfördelning.

Hur stora är enskilda reningsverks kväveutsläpp efter retention?

Retention i form av kväveavskiljning från vattenfasen finns uträknad för hela Sveriges yta (Fig. 14) för enskilda delområden. Samtliga reningsverk inom ett visst delområde får dock samma retention, dvs. antas ha samma flödesväg till havet. Ett stort antal reningsverk ingår i HBV-NP tillämpningen för Sverige. I Figur 25 (till vänster) visas dessa utsläpp aggregerade för enskilda delområden och hur de är fördelade över Sverige.

På grund av den stora spridningen i storlek på utsläppen har en logaritmisk skala använts. De totala bruttoutsläppen från svenska reningsverk är ca 18 000 ton per år (PLC-5). Bruttoutsläpp för reningsverk söder om Dalälven är nästan 14 000 ton kväve, d.v.s. 76% av de totala reningsverksutsläppen.

Den högra delen av Figur 25 visar reningsverkens kväveutsläpp efter retention, dvs. hur mycket av utsläppet från varje reningsverk som når havet. Den stora spännvidden på utsläppsvärden gör att det kan vara svårt att utläsa retentionen i kartan, men de flesta reningsverk har en viss retention på sin väg till havet (jämför med Fig. 14). Stor retention kan dock noteras för reningsverk uppströms de stora sjöarna, tex. Vättern, Mälaren och Storsjön.

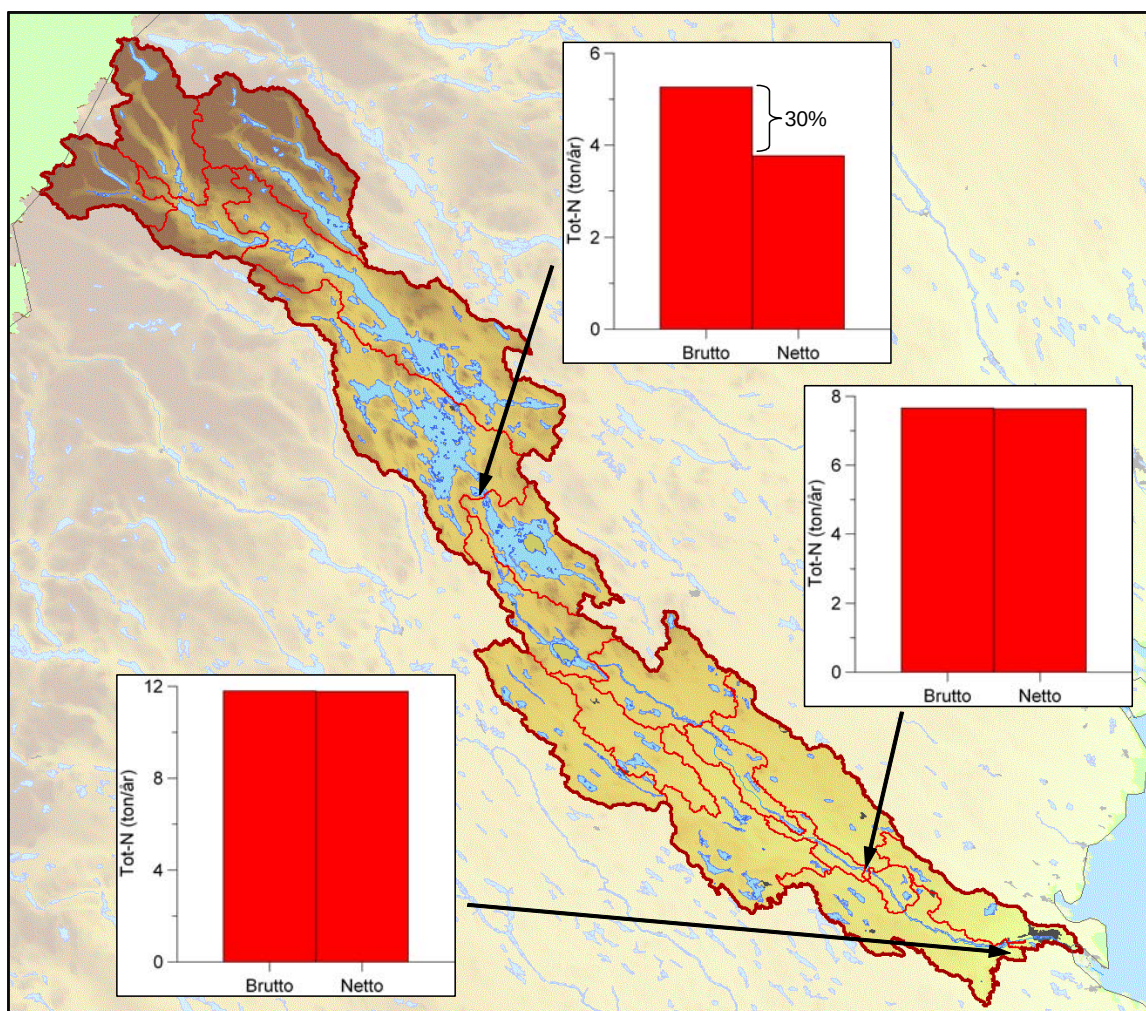


Figur 25. Bruttoutsläpp från reningsverk inom varje delområde (till vänster) respektive nettobelastning på havet (till höger) efter att hänsyn har tagits till kväveavskiljning i vattendrag och sjöar under transporten till havet.

Figure 25. Gross load from waste water treatment plants in each subbasin (left) and net load to the sea (right) when nitrogen retention in lakes and rivers to the sea has been considered.

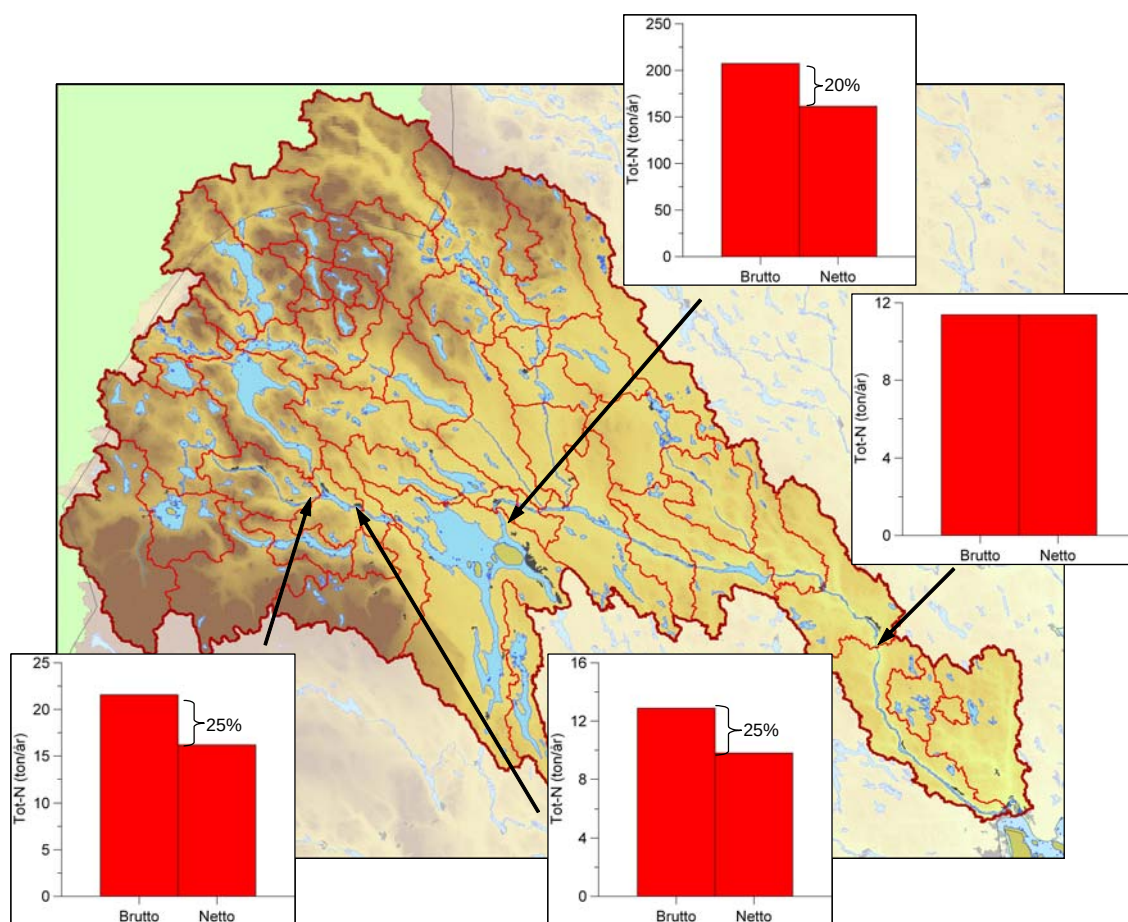
För hela Sverige reduceras reningsverkens utsläpp till kusten med 3200 ton kväve per år genom naturlig kväveretention i vattendrag och sjöar. Detta motsvarar 18% av reningsverkens totala utsläpp. Retentionen varierar dock betydligt mellan olika delar av landet. 90% av reningsverkens retention sker i södra Sverige. De flesta reningsverk med större utsläpp finns längs kusten och i södra Sverige. I södra Sveriges inland kan ju retentionen vara betydande, ibland >80%. I Norrlands inland är reningsverken få och retentionen låg, vilket gör att mängden reducerat utsläpp är låg.

För att tydligare se retentionens påverkan på kväveutsläpp till havet från enskilda reningsverk redovisas några exempel för våra utvalda områden (Figur 26-29). Figurerna visar på lägre retention i norr än i söder liksom Figur 13 och Figur 14. Dessutom ser man i alla figurer att retentionen är lägre närmare havet, och obefintlig för utsläppen i nedersta delområdet (Fig. 29).



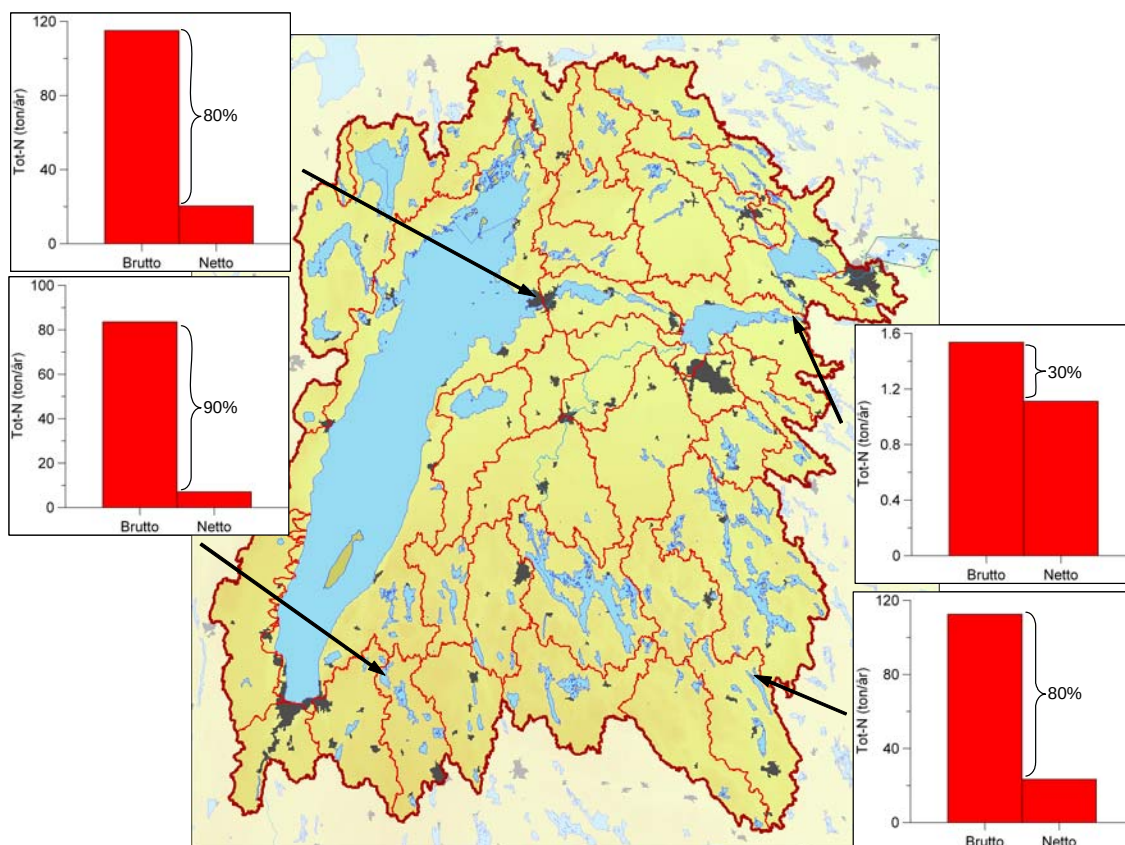
Figur 26. Skillnad mellan brutto- och nettoutsläpp till havet från reningsverk inom ett antal delområden i Skellefteälvens avrinningsområde.

Figure 26. Difference between gross and net load to the sea for emissions from waste water treatment plants within some of the subbasins of Skellefteälven River.



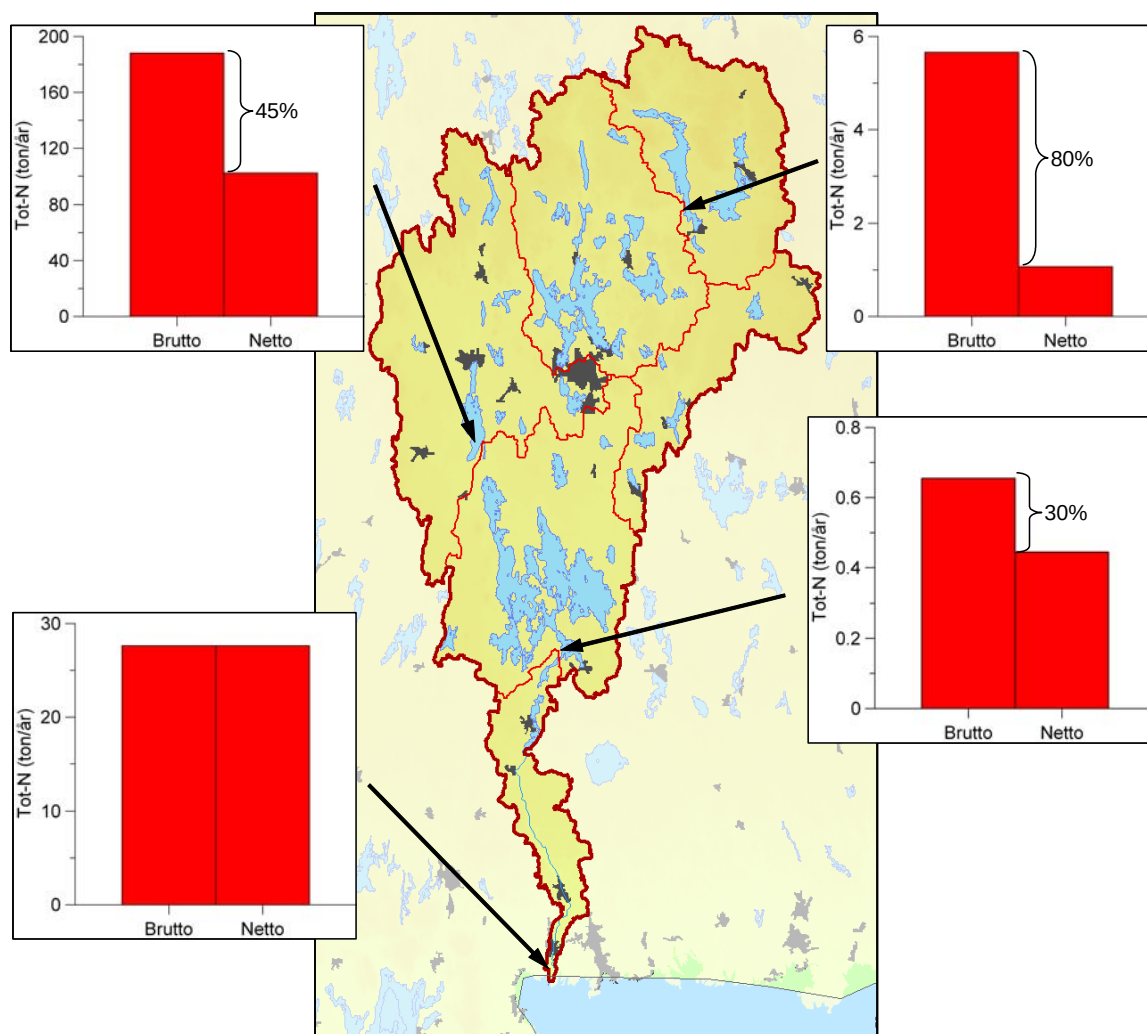
Figur 27. Skillnad mellan brutto- och nettoutsläpp till havet från reningsverk inom ett antal delområden i Indalsälvens avrinningsområde.

Figure 27 Difference between gross and net load to the sea for emissions from waste water treatment plants within some of the subbasins of Indalsälven River.



Figur 28. Skillnad mellan brutto- och nettoutsläpp till havet från reningsverk inom ett antal delområden i Motala ströms avrinningsområde.

Figure 28. Difference between gross and net load to the sea for emissions from waste water treatment plants within some of the subbasins of Motala ström River.



Figur 29. Skillnad mellan brutto- och nettoutsläpp till havet från reningsverk inom ett antal delområden i Mörrumsåns avrinningsområde.

Figure 29. Difference between gross and net load to the sea for emissions from waste water treatment plants within some of the subbasins of Mörrumsån River.

Slutsats: Naturlig kväveretention i vattendrag och sjöar reducerar reningsverkens bidrag till kusten med 3200 ton/år, vilket motsvarar 18% av reningsverkens totala utsläpp. Retentionen varierar dock betydligt mellan olika delar av landet. De flesta reningsverk med större utsläpp finns längs kusten och i södra Sverige. I södra Sveriges inland kan retentionen vara betydande, ibland >80%. Huvuddelen, 90%, av retentionen på reningsverksutsläppen sker i södra Sverige. I Norrlands inland är reningsverken få och retentionen låg, vilket gör att mängden reducerat utsläpp är låg. Bara 24% av de totala bruttoutsläppen från reningsverk sker i norra Sverige.

Slutsatser

I Sverige överstiger normalt summan av ett områdes kväveutsläpp och markläckage till vattendrag den transport ut ur området som faktiskt kan uppmätas; skillnaden kallas retention. Speciellt stor är effekten i sjörika områden. Det är inte ovanligt med 30-70% kväveavskiljning i vattendrag och sjöar.

I Sverige har man utvecklat ett modellsystem för storskalig beräkning av närsalttransport från land till hav med relativt hög geografisk upplösning (1000 delområden). Systemet kopplar fältskalemodeller med avrinningsmodeller, är vetenskapligt dokumenterat och granskat och har tillämpats storskaligt sedan 1997 för internationell rapportering till HELCOM. Avrinningsområdesmodellen (HBV-NP) justeras och utvärderas mot empiriska mätserier där sådana finns. Modellen har inte sämre precision än andra motsvarande modeller, snarare är den något bättre vad gäller vattenföring.

Modellen visar att det är stor skillnad i sjöars retentionskapacitet; i norra delarna av landet är den låg medan sjöarna i de varmare södra delarna av landet är betydligt effektivare som kvävesänkor. I södra Sverige är medelreduktionen 30-40 kg ha⁻¹ sjö år⁻¹ och där sker 70% av den totala reduktionen. Enligt de svenska beräkningarna reduceras reningsverkens bidrag till kusten med 3200 ton/år genom naturlig kväveretention i vattendrag och sjöar. Detta motsvarar 18% av reningsverkens totala utsläpp.

Allt tyder på att den beräknade kväveretentionen för Sverige är av rätt storleksordning och att det storskaliga mönstret för Sverige är korrekt, även om avvikelser kan förekomma för enskilda mindre områden.

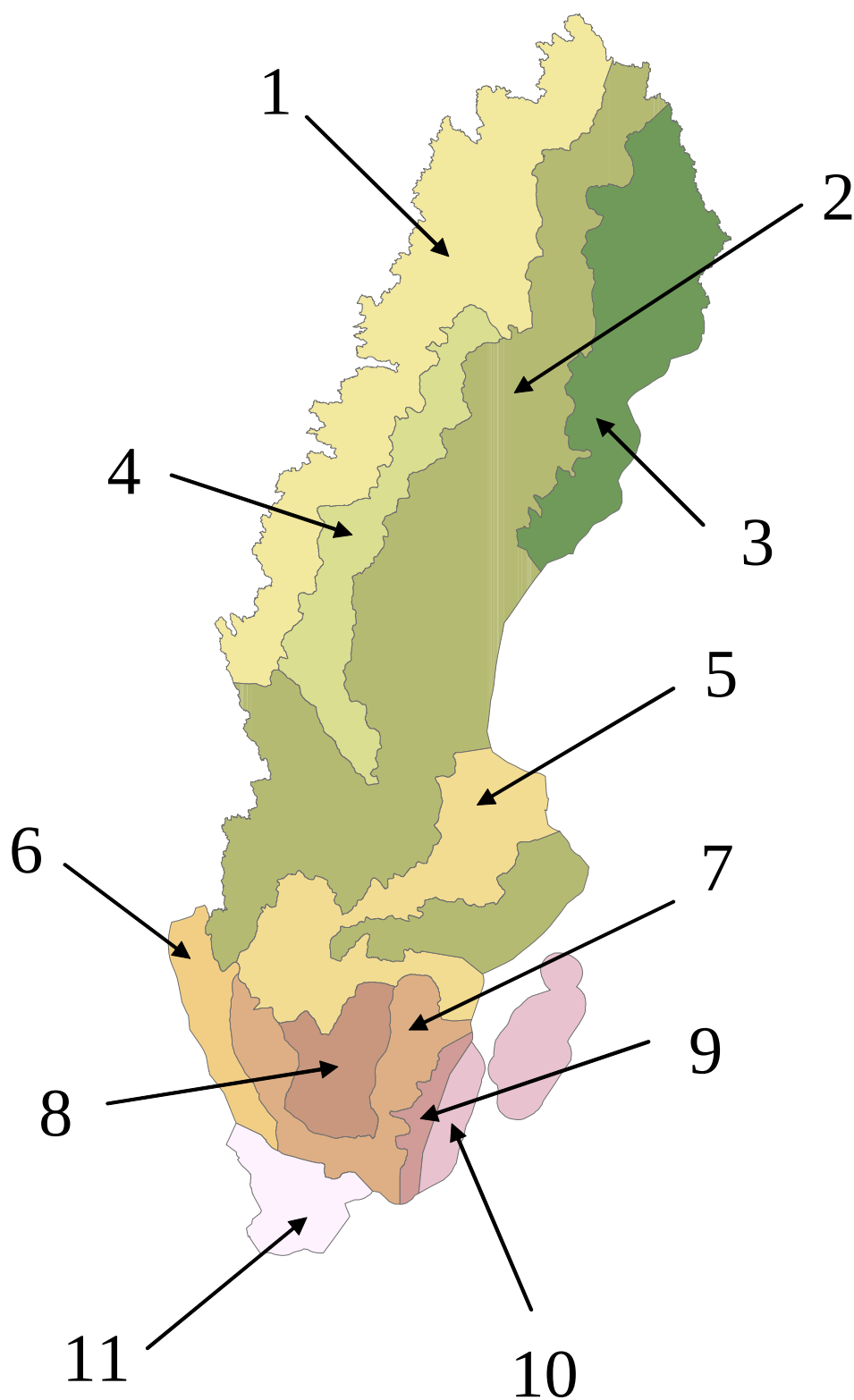
Referenser

- Andersson, L., Rosberg, J., Pers, B.C., Olsson, J. och Arheimer, B., 2005. Estimating catchment nutrient flow with the HBV-NP model – sensitivity to input data. *Ambio*, 34(7): 521-532.
- Arheimer, B. och Brandt, M., 1998. Modelling nitrogen transport and retention in the catchments of southern Sweden. *Ambio* 27(6):471-480.
- Arheimer, B. och Olsson, J., 2003. Integration and Coupling of Hydrological Models with Water Quality Models: Applications in Europe. *World Meteorological Organisation, WMO Technical reports in hydrology and water resources, No.75. WMO/TD-No.1174. Geneva*
- Bergström, S., 1995. The HBV model. In Singh, V. (Ed.) *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publications, Littleton, Colorado.
- Arheimer, B., Löwgren, M., Pers, B.C. och Rosberg, J., 2005. Integrated catchment modeling for nutrient reduction: scenarios showing impacts, potential and cost of measures. *Ambio* 34(7):513-520.
- Behrendt, H., Huber, P., Kornmilch, M., Opitz, D., Schmoll, O., Scholz, G. och Uebe, R., 2000. Nutrient Emissions into River Basins of Germany. *Report UBA-FB*, Berlin.
- Bergström, S., 1995. The HBV model. In: Sing, V.P. (Ed), *Computer models of watershed hydrology*. Water Resources Publications, Colorado, 443-476.
- Bergström, S., Brandt, M. och Gustafson, A., 1987. Simulation of runoff and nitrogen leaching from two fields in southern Sweden. *Hydrological Science Journal* 32(2-6):191-205.
- Brandt, M. och Ejhed, H., 2002. TRK Transport- Retention – Källfördelning belastning på havet. *NV Rapport 5247*, 117 sidor.
- Brandt, M., 1990. Simulation of runoff and nitrogen transport from mixed basins in Sweden. *Nordic Hydrology*, 21:13-34.
- de Wit, M. och Bendoricchio, G., 2001. Nutrient fluxes in the Po basin. *The science of the total environment* 273:147-161.
- Dillon, P. J., Evans, R. D. och Molot, L. A., 1990. Retention and resuspension of phosphorus, nitrogen, and iron in a central Ontario lake. *Can. J. Aquat. Sci.* 47, 1269-1274.
- Dorge, J., 1994. Modelling nitrogen transformations in freshwater wetlands. Estimating nitrogen retention and removal in natural wetlands in relation to their hydrology and nutrient loadings. *Ecological modelling* 75/76:409-420.
- Dudel, G. and Kohl, J-G., 1992. The nitrogen budget of a shallow lake. *Int. revue ges. Hydrobiol.* 77(1):43-72.
- Emmett, B. A., Hudson, J. A., Coward, P. A. och Reynolds, B., 1994. The impact of an riparian wetland on streamwater quality in a recently afforested upland catchment. *Journal of Hydrology* 162:337-353.

- Faafeng, B. A. och Roseth, R., 1993. Retention of nitrogen in small streams artificially polluted with nitrate. *Hydrobiologia* 251:113-122.
- Fogelberg, S., Arheimer, B., Venohr, M. och Behrendt, H., 2004. Catchment Modelling of Nitrogen Flow with two Different Conceptual Models. In: Järvet, Å (Ed.) Proceedings of XXIII Nordic Hydrologic Conference, Tallin, 8-12 Aug. 2004. *Nordic Hydrological Programme Reports* 48:149-158, Tartu.
- Fustec, E., Mariotti, A., Grillo, X. och Sajus, J., 1991. Nitrate removal by denitrification in alluvial ground water: - role of a former channel. *Journal of Hydrology* 123:337-354.
- Haycock, N. E., Pinay, G. och Walker, C., 1993. Nitrogen retention in river corridors: European perspective. *Ambio* 22(6):340-346.
- Heng, H. H. och Nikolaidis, N. P., 1998. Modeling of nonpoint source pollution of nitrogen at the watershed scale. *Journal of the American Water Resource Association* 2:359-374
- Howard-Williams, C., 1985. Cycling and retention of nitrogen and phosphorus in wetlands: a theoretical and applied perspective. *Freshwater Biology* 15, 391-431.
- Johnsson, H. och Mårtensson, K., 2002. Kväveläckage från svensk åkermark – Beräkningar av normalutlakningen för 1995 och 1999. *NV Rapport* 5248, 89 sidor.
- Johnsson, H., Bergström, L. och Jansson, P.-E., 1987. Simulated nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 18:333-356.
- Krysanova, V., Muller-Wohlfeil, D-I. och Becker, A., 1998. Development and test of a spatially distributed hydrological/water quality model for mesoscale watersheds. *Ecological modelling* 106:261-289.
- Lepisto, A., Granlund, K., Kortelainen, P. och Räike, A., 2006. Nitrogen in river basins: Sources, retention in the surface waters and peatlands, and fluxes to estuaries in Finland. *Science of the Total Environment* 365: 238-259.
- Liden, R., Vasilyev, A., Stålnacke, P., Loigu, E. and Wittgren, H.B., 1999. Nitrogen source apportionment- a comparison between a dynamic and statistical model. *Ecological Modelling* 114, 235-250.
- Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M. och Bergström, S., 1997. Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model. *Journal of Hydrology*, 201: 272-288.
- Lindström, G., Rosberg, J. och Arheimer, B., 2005. Parameter Precision in the HBV-NP Model and Impacts on Nitrogen Scenario Simulations in the Rönneå River, Southern Sweden. *Ambio* 34(7): 533-537.
- Lowrance, R., 1992. Nitrogen outputs from a field-size agricultural watershed. *Journal of Environmental Quality* 21:602-607.
- Molot, L. A. och Dillon, P. J., 1993. Nitrogen mass balances and denitrification rates in central Ontario Lakes. *Biogeochemistry* 20:195-212.

- Nash, J.E. och Sutcliffe, J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part I: A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10:282-290.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. och Williams, J.R., (2001). *Soil and Water Assessment Tool – Theoretical Documentation - Version 2000*, Blackland Research Center – Agricultural Research Service, Texas - USA
- Pers, C., 2007. HBV-NP Model Manual. *SMHI Hydrologi*, Nr 103, 80 sidor.
- Schoumans, O.F. och Silgram, M. (eds.), 2003. Review and literature evaluation of quantification tools for the assessment of nutrient losses at catchment scale. *EUROHARP report 1-2003, NIVA report SNO 4739-2003, ISBN 82-557-4411-5*, Oslo, Norway, 120 sidor.
- Seitzinger, S.P., Styles, R.V., Boyer, E.W., Alexander, R.B., Robert, G.B., Howarth, W., Mayer, B. och Van Breemen, N., 2002. Nitrogen Retention in Rivers: Model Development and Application to Watersheds in the Northeastern U.S.A. *Biogeochemistry*, 57:199-237.
- Svendsen, L. M. och Kronvang, B., 1993. Retention of nitrogen and phosphorus in a Danish lowland river system: implications for the export from the watershed. *Hydrobiologia* 251:123-135.
- Tattari, S., Bärlund, I., Rekolainen, S., Posch, M., Siimes, K., Tuhkanen, H.-R. och Yli-Halla, M., 2001. Modeling sediment yield and phosphorus transport in Finnish clayey soils. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 44:297-307.
- Viney, N.R., Croke, B.F.W., Breuer, L., Bormann, H., Bronstert, A., Frede, H., Gräff, T., Hubrechts, L., Huisman, J.A., Jakeman, A.J., Kite, G.W., Lanini, J., Leavesley, G., Lettenmaier, D.P., Lindström, G., Seibert, J., Sivapalan M. och Willems, P., 2005. Ensemble modelling of the hydrological impacts of land use change. I Zerger, A. och Argent, R.M. (eds) *MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation*. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2005, pp. 2967-2973. ISBN: 0-9758400-2-9.
- Wade, A.J., Durand, P., Beaujouan, V., Wessels, W.W., Raat, K.J., Whitehead, P.G., Butterfield, D., Rankinen, K. och Lepistö, A., 2002. A nitrogen model for European ecosystems: INCA, new model structure and equations. *Hydrology and Earth System Sciences* 6: 559-582.
- Windolf, J., Jeppesen, E., Jensen, J. P. och Kristensen, P., 1996. Modelling of seasonal variation in nitrogen retention and in-lake concentration: A four-year mass balance study in 16 shallow Danish lakes. *Biogeochemistry* 33:25-44.

Swedish Lake Regions



Nitrogen retention in Swedish lakes (TRK estimates)

Lake Region 1

No. 154	Median	Mean	Std	Min	Max
Lake Area (km)	18	34	48	0,25	333
Depth (m)	9	14	7	2,5	37
Water Discharge (Mm ³ /year)	716	1377	1730	40	8589
Residence time (Year)	0,35	0,69	1,06	0,001	8,97
Temperature (°C)	-0,7	-0,6	1,2	-3	2
Tot-N Retention (%)	3%	5%	6%	0	4%
Tot-N load (tonnes/yr)	192	346	408	8	1972
Tot-N Retention (tonnes/yr)	6,2	12,5	23,8	0	208,6
Tot-N (tonnes/yr km ²)	9,3	36,9	108	0,7	869
Tot-N Retention (tonnes/yr km ²)	0,3	0,3	0,2	0	1,5

Lake Region 2

No. 321	Median	Mean	Std	Min	Max
Lake Area (km)	9,6	15, 8	18,5	0,04	143
Depth (m)	4,9	5,9	3,0	2,3	23,1
Water Discharge (Mm ³ /year)	233	1217	2461	11	15229
Residence time (Year)	0,17	0,53	0,9	0,000	7,06
Temperature (°C)	3,7	3,4	1,9	-1,6	6,4
Tot-N Retention (%)	7%	12%	13%	0	67%
Tot-N load (tonnes/yr)	139	461	813	6,6	5945
Tot-N Retention (tonnes/yr)	9,6	17,1	23,4	0	187
Tot-N (tonnes/yr km ²)	15,6	282,8	2058	0, 8	35142
Tot-N Retention (tonnes/yr km ²)	0,9	1,2	1,1	0	8,4

Lake Region 3

No. 40	Median	Mean	Std	Min	Max
Lake Area (km)	6,8	9,6	8,9	0,05	30
Depth (m)	3,5	4,0	1,1	2,7	7,0
Water Discharge (Mm ³ /year)	235	1910	4140	61	15997
Residence time (Year)	0,06	0,18	0,24	0,000	0,8
Temperature (°C)	1	1,2	0,8	-0,5	3
Tot-N Retention (%)	3%	7%	6%	0	31%
Tot-N load (tonnes/yr)	120	627	1214	32	4309
Tot-N Retention (tonnes/yr)	4,8	7,5	8,7	0	39
Tot-N (tonnes/yr km ²)	28	467	1494	2	8756
Tot-N Retention (tonnes/yr km ²)	0,66	0,78	0,62	0	3,06

Lake Region 4

No. 53	Median	Mean	Std	Min	Max
Lake Area (km)	12,3	43,9	82	1,58	451
Depth (m)	5,8	8,6	5,5	3,2	23,8
Water Discharge (Mm ³ /year)	1579	2659	2771	27	12648
Residence time (Year)	0,08	0,36	0,66	0,001	3,88
Temperature (°C)	1,8	1,7	1, 1	-0,5	4,3
Tot-N Retention (%)	2%	5%	7%	0	30%
Tot-N load (tonnes/yr)	602	851	817	13	3664
Tot-N Retention (tonnes/yr)	8,3	35,5	101	0	542
Tot-N (tonnes/yr km ²)	25	98	176	1,78	932
Tot-N Retention (tonnes/yr km ²)	0,62	0,64	0,28	0	1,86

Lake Region 5

No. 57	Median	Mean	Std	Min	Max
Lake Area (km)	6,2	172	780	0,05	5556
Depth (m)	2,1	4,0	3,7	0,7	14,6
Water Discharge (Mm ³ /year)	121	1442	3919	9	22279
Residence time (Year)	0,08	1,4	7,4	0,000	55,5
Temperature (°C)	6	6	0,6	4,7	7
Tot-N Retention (%)	11%	16%	17%	0	70%
Tot-N load (tonnes/yr)	211	1345	3570	13	24453
Tot-N Retention (tonnes/yr)	14	267	931	0	6138
Tot-N (tonnes/yr km ²)	40	605	2467	1,7	16476
Tot-N Retention (tonnes/yr km ²)	3,1	4,6	4,7	0	22,8

Lake Region 6

No. 3	Median	Mean	Std	Min	Max
Lake Area (km)	3,8	6,5	4,7	3,8	11,9
Depth (m)	5,2	5,8	2,6	3,6	8,7
Water Discharge (Mm ³ /year)	143	152	17	142	172
Residence time (Year)	0,23	0,21	0,06	0,14	0,25
Temperature (°C)	7	6,8	0,4	6,3	7,1
Tot-N Retention (%)	16%	16%	2%	14%	18%
Tot-N load (tonnes/yr)	198	325	231	185	592
Tot-N Retention (tonnes/yr)	30	55	46	28	109
Tot-N (tonnes/yr km ²)	48	74	74	17	157
Tot-N Retention (tonnes/yr km ²)	7,9	13	14	2,3	29

Lake Region 7

No. 81	Median	Mean	Std	Min	Max
Lake Area (km)	6,2	9,9	12,6	0,05	68,7
Depth (m)	3,8	5,4	3,8	2,1	23,1
Water Discharge (Mm ³ /year)	135	276	381	14	2022
Residence time (Year)	0,2	0,8	2,5	0,000	21,7
Temperature (°C)	7	6,8	0,4	6	7,4
Tot-N Retention (%)	10%	16%	16%	0	70%
Tot-N load (tonnes/yr)	134	295	428	13	2459
Tot-N Retention (tonnes/yr)	13	24	41	0	276
Tot-N (tonnes/yr km ²)	18	690	2339	1,5	12416
Tot-N Retention (tonnes/yr km ²)	2,0	2,7	2,5	0	17,8

Lake Region 8

No. 48	Median	Mean	Std	Min	Max
Lake Area (km)	14	24	35	0,4	170
Depth (m)	3,5	4,0	1,8	1,9	9,6
Water Discharge (Mm ³ /year)	134	238	237	26	1013
Residence time (Year)	0,3	0,6	0,9	0,0	5,0
Temperature (°C)	6	6,2	0,4	5,3	7
Tot-N Retention (%)	20%	20%	20%	0,4%	70%
Tot-N load (tonnes/yr)	160	270	268	28	1178
Tot-N Retention (tonnes/yr)	33	59	82	3	374
Tot-N (tonnes/yr km ²)	12	74	212	1,6	1077
Tot-N Retention (tonnes/yr km ²)	2,6	3,4	3,1	0,9	20,4

Lake Region 9

No. 4	Median	Mean	Std	Min	Max
Lake Area (km)	0,3	0,4	0,4	0,02	0,9
Depth (m)	2	2	0,8	1,2	3
Water Discharge (Mm ³ /year)	80	128	119	46	303
Residence time (Year)	0,007	0,015	0,02	0,000	0,05
Temperature (°C)	7	7	0	7	7
Tot-N Retention (%)	0, 1%	0,1%	8%	0%	0,2%
Tot-N load (tonnes/yr)	86	108	74	47	211
Tot-N Retention (tonnes/yr)	0,13	0,12	0,11	0	0,23
Tot-N (tonnes/yr km ²)	516	1018	1341	55	2986
Tot-N Retention (tonnes/yr km ²)	0,33	0,35	0,37	0	0,73

Lake Region 10

(No lakes!)

Lake Region 11

No. 15	Median	Mean	Std	Min	Max
Lake Area (km)	1,4	6,6	10,5	0,05	38
Depth (m)	2,1	2,6	1,4	1,2	6,2
Water Discharge (Mm ³ /year)	107	238	359	11	1356
Residence time (Year)	0,02	0,18	0,26	0,000	0,77
Temperature (°C)	7,8	7,6	0,4	7	8
Tot-N Retention (%)	7%	14%	16%	0%	46%
Tot-N load (tonnes/yr)	298	559	608	55	2070
Tot-N Retention (tonnes/yr)	15	66	100	0	353
Tot-N (tonnes/yr km ²)	111	2275	3975	11	13150
Tot-N Retention (tonnes/yr km ²)	7	11	9,3	0	30

SMHI ger ut sex rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Rapport Meteorologi och Klimatologi)	1974
RH (Rapport Hydrologi)	1990
RO (Rapport Oceanografi)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985

I serien HYDROLOGI har tidigare utgivits:

- | | |
|--|---|
| <p>1 Bengt Carlsson (1985)
Hydrokemiska data från de svenska fältforskningsområdena.</p> <p>2 Martin Häggström och Magnus Persson (1986)
Utvärdering av 1985 års vårflödesprognoser.</p> <p>3 Sten Bergström, Ulf Ehlin, SMHI, och Per-Eric Ohlsson, VASO (1986)
Riktlinjer och praxis vid dimensionering av utskov och dammar i USA. Rapport från en studieresa i oktober 1985.</p> <p>4 Barbro Johansson, Erland Bergstrand och Torbjörn Jutman (1986)
Skåneprojektet - Hydrologisk och oceanografisk information för vattenplanering - Ett pilotprojekt.</p> <p>5 Martin Häggström (1986)
Översiktlig sammanställning av den geografiska fördelningen av skador främst på dammar i samband med septemberflödet 1985.</p> <p>6 Barbro Johansson (1986)
Vattenföringsberäkningar i Södermanlands län - ett försöksprojekt.</p> <p>7 Maja Brandt (1986)
Areella snöstudier.</p> <p>8 Bengt Carlsson, Sten Bergström, Maja Brandt och Göran Lindström (1987)
PULS-modellen: Struktur och tillämpningar.</p> | <p>9 Lennart Funkquist (1987)
Numerisk beräkning av vågor i kraftverksdammar.</p> <p>10 Barbro Johansson, Magnus Persson, Enrique Aranibar and Robert Llobet (1987)
Application of the HBV model to Bolivian basins.</p> <p>11 Cecilia Ambjörn, Enrique Aranibar and Roberto Llobet (1987)
Monthly streamflow simulation in Bolivian basins with a stochastic model.</p> <p>12 Kurt Ehlert, Torbjörn Lindkvist och Todor Milanov (1987)
De svenska huvudvattendragens namn och mynningspunkter.</p> <p>13 Göran Lindström (1987)
Analys av avrinningsserier för uppskattning av effektivt regn.</p> <p>14 Maja Brandt, Sten Bergström, Marie Gardelin och Göran Lindström (1987)
Modellberäkning av extrem effektiv nederbörd.</p> <p>15 Håkan Danielsson och Torbjörn Lindkvist (1987)
Sjökarte- och sjöuppgifter. Register 1987.</p> <p>16 Martin Häggström och Magnus Persson (1987)
Utvärdering av 1986 års vårflödesprognoser.</p> |
|--|---|

- 17 Bertil Eriksson, Barbro Johansson, Katarina Losjö och Haldo Vedin (1987)
Skogsskador - klimat.
- 18 Maja Brandt (1987)
Bestämning av optimalt klimatstationsnät för hydrologiska prognoser.
- 19 Martin Häggström och Magnus Persson (1988)
Utvärdering av 1987 års vårflödesprognoser.
- 20 Todor Milanov (1988)
Frysförluster av vatten.
- 21 Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval and Maria Elvira Vega (1988)
Application of the HBV model to the upper Río Cauca basin.
- 22 Mats Moberg och Maja Brandt (1988)
Snökartläggning med satellitdata i Kultsjöns avrinningsområde.
- 23 Martin Gotthardsson och Sten Lindell (1989)
Hydrologiska stationsnät 1989. Svenskt Vattenarkiv.
- 24 Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval y Maria Elvira Vega (1989)
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca superior del Río Cauca.
- 25 Gun Zachrisson (1989)
Svåra islossningar i Torneälven. Förslag till skadeförebyggande åtgärder.
- 26 Martin Häggström (1989)
Anpassning av HBV-modellen till Torneälven.
- 27 Martin Häggström and Göran Lindström (1990)
Application of the HBV model for flood forecasting in six Central American rivers.
- 28 Sten Bergström (1990)
Parametervärden för HBV-modellen i Sverige. Erfarenheter från modellkalibreringar under perioden 1975 - 1989.
- 29 Urban Svensson och Ingemar Holmström (1990)
Spridningsstudier i Glan.
- 30 Torbjörn Jutman (1991)
Analys av avrinningens trender i Sverige.
- 31 Mercedes Rodriguez, Barbro Johansson, Göran Lindström, Eduardo Planos y Alfredo Remont (1991)
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca del Río Cauto en Cuba.
- 32 Erik Arnér (1991)
Simulering av vårflöden med HBV-modellen.
- 33 Maja Brandt (1991)
Snömätning med georadar och snötaxeringar i övre Luleälven.
- 34 Bent Göransson, Maja Brandt och Hans Bertil Wittgren (1991)
Markläckage och vattendragstransport av kväve och fosfor i Roxen/Glan-systemet, Östergötland.
- 35 Ulf Ehlin och Per-Eric Ohlsson, VASO (1991)
Utbyggd hydrologisk prognos- och varningstjänst.
Rapport från studieresa i USA
1991-04-22--30.
- 36 Martin Gotthardsson, Pia Rystam och Sven-Erik Westman (1992)
Hydrologiska stationsnät 1992/Hydrological network. Svenskt Vattenarkiv.
- 37 Maja Brandt (1992)
Skogens inverkan på vattenbalansen.
- 38 Joakim Harlin, Göran Lindström, Mikael Sundby (SMHI) och Claes-Olof Brandesten (Vattenfall Hydropower AB) (1992)
Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionering av hel älv.
- 39 Sten Lindell (1993)
Realtidsbestämning av arealnederbörd.
- 40 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Vattenföring i Sverige. Del 1. Vattendrag till Bottenviken.
- 41 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Vattenföring i Sverige. Del 2. Vattendrag till Bottenhavet.
- 42 Svenskt Vattenarkiv (1993)
Vattenföring i Sverige. Del 3. Vattendrag till Egentliga Östersjön.

- 43 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Vattenföring i Sverige. Del 4. Vattendrag till Västerhavet.
- 44 Martin Häggström och Jörgen Sahlberg (1993)
Analys av snösmältningsförlopp.
- 45 Magnus Persson (1993)
Utnyttjande av temperaturens persistens vid beräkning av volymsprognoser med HBV-modellen.
- 46 Göran Lindström, Joakim Harlin och Judith Olofsson (1993)
Uppföljning av Flödeskommitténs riktlinjer.
- 47 Bengt Carlsson (1993)
Alkalinitets- och pH-förändringar i Ume-älven orsakade av minimitappning.
- 48 Håkan Sanner, Joakim Harlin and Magnus Persson (1994)
Application of the HBV model to the Upper Indus River for inflow forecasting to the Tarbela dam.
- 49 Maja Brandt, Torbjörn Jutman och Hans Alexandersson (1994)
Sveriges vattenbalans. Årsmedelvärden 1961 - 1990 av nederbörd, avdunstning och avrinning.
- 50 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Avrinningsområden i Sverige. Del 3. Vattendrag till Egentliga Östersjön och Öresund.
- 51 Martin Gotthardsson (1994)
Svenskt Vattenarkiv. Översvämningskänsliga områden i Sverige.
- 52 Åsa Evremar (1994)
Avdunstningens höjdberoende i svenska fjällområden bestämd ur vattenbalans och med modellering.
- 53 Magnus Edström och Pia Rystam (1994)
FFO - Stationsnät för fältforskningsområden 1994.
- 54 Zhang Xingnan (1994)
A comparative study of the HBV model and development of an automatic calibration scheme.
- 55 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Svenskt dammregister - Södra Sverige.
- 56 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Svenskt dammregister - Norra Sverige.
- 57 Martin Häggström (1994)
Snökartering i svenska fjällområdet med NOAA-satellitbilder.
- 58 Hans Bertil Wittgren (1995)
Kvävetransport till Slätbaken från Söderköpingsåns avrinningsområde
- 59 Ola Pettersson (1995)
Vattenbalans för fältforskningsområden.
- 60 Barbro Johansson, Katarina Losjö, Nils Sjödin, Remigio Chikwanha and Joseph Merka (1995)
Assessment of surface water resources in the Manyame catchment - Zimbabwe.
- 61 Behzad Koucheiki (1995)
Älvtemperaturers variationer i Sverige under en tioårsperiod.
- 62 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Sänkta och torrlagda sjöar.
- 63 Malin Kanth (1995)
Hydrokemi i fältforskningsområden.
- 64 Mikael Sundby, Rikard Lidén, Nils Sjödin, Helmer Rodriguez, Enrique Aranibar (1995)
Hydrometeorological Monitoring and Modelling for Water Resources Development and Hydropower Optimisation in Bolivia.
- 65 Maja Brandt, Kurt Ehlert (1996)
Avrinningen från Sverige till omgivande hav.
- 66 Sten Lindell, Håkan Sanner, Irena Nikolushkina, Inita Stikute (1996)
Application of the integrated hydrological modelling system IHMS-HBV to pilot basin in Latvia
- 67 Sten Lindell, Bengt Carlsson, Håkan Sanner, Alvina Reihan, Rimma Vedom (1996)
Application of the integrated hydrological modelling system IHMS-HBV to pilot basin in Estonia
- 68 Sara Larsson, Rikard Lidén (1996)
Stationstäthet och hydrologiska prognoser.

- 69 Maja Brandt (1996)
Sedimenttransport i svenska vattendrag
exempel från 1967-1994.
- 70 Svenskt Vattenarkiv (1996)
Avrinningsområden i Sverige. Del 4.
Vattendrag till Västerhavet.
- 71 Svenskt Vattenarkiv (1996)
Svenskt sjöregister. 2 delar
- 72 Sten Lindell, Lars O Ericsson, Håkan Sanner,
Karin Göransson SMHI
Malgorzata Mierkiewicz , Andrzej
Kadlubowski, IMGW (1997)
Integrated Hydrological Monitoring and
Forecasting System for the Vistula River
Basin. Final report.
- 73 Maja Brandt, Gun Grahn (1998)
Avdunstning och avrinningskoefficient i
Sverige 1961-1990. Beräkningar med HBV-
modellen.
- 74 Anna Eklund (1998)
Vattentemperaturer i sjöar, sommar och vinter
- resultat från SMHIs mätningar.
- 75 Barbro Johansson, Magnus Edström, Katarina
Losjö och Sten Bergström (1998)
Analys och beräkning av
snösmältningsförlopp.
- 76 Anna Eklund (1998)
Istjocklek på sjöar.
- 77 Björn Bringfelt (1998)
An evapotranspiration model using SYNOP
weather observations in the Penman-Monteith
equation
- 78 Svenskt Vattenarkiv (1998)
Avrinningsområden i Sverige. Del 2
Vattendrag till Bottenhavet.
- 79 Maja Brandt, Anna Eklund (1999)
Snöns vatteninnehåll Modellberäkningar
och statistik för Sverige
- 80 Bengt Carlsson (1999)
Some facts about the Torne and Kalix
River Basins.
A contribution to the NEWBALTIC II
workshop in Abisko June 1999.
- 81 Anna Eklund (1999)
Isläggning och islossning i svenska sjöar.
- 82 Svenskt Vattenarkiv (2000)
Avrinningsområden i Sverige. Del 1.
Vattendrag till Bottenviken.
- 83 Anna Eklund, Marie Gardelin, Anders
Lindroth (2000)
Vinteravdunstning i HBV-modellen -
jämförelse med mätdata
- 84 Göran Lindström, Mikael Ottosson Löfvenius
(2000)
Tjäle och avrinning i Svartberget – studier
med HBV-modellen
- 85 Bengt Carlsson och Göran Lindström (2001)
HBV-modellen och flödesprognoser
- 86 Josef Källgården (2001)
Snow distribution in a mountainous region.
A remote sensing study.
- 87 Johan Andréasson, Anders Gyllander, Barbro
Johansson, Josef Källgården, Sten Lindell,
Judith Olofsson, Angela Lundberg (2001)
Snötaxering med georadar - Bättre
vårflödesprognoser med HBV-modellen?
- 88 Deliang Chen, Barbro Johansson (2003)
Temperaturens höjdberoende – En studie i
Indalsälvens avrinningsområde.
- 89 Agne Lärke, Håkan Sanner, Anna Johnell
(2003)
Utvärdering av SMHI:s prognos- och
varningstjänsts verksamhet under flödena
januari t o m mars 2002 i sydvästra Sverige
- 90 Barbro Johansson, Johan Andreasson och
Johan Jansson (2003)
Satellite data on snow cover in the HBV
model. Method development and evaluation
- 91 Charlotta Pers (2003)
BIOLA – BIOgeochemical LAke Model
Manual
- 92 Carl Granström (2003)
Utvärdering av SMHIs prognos- och
varningstjänsts verksamhet under flödet i
området runt Emån juli 2003
- 93 Carl Granström (2003)
Modell för prognos av tidpunkt och karaktär
för islossningen i Torne älv.

- 94 Maja Brandt och Gun Grahm, SMHI.
Erik Årnfelt och Niclas Bäckman,
Länsstyrelsen Östergötland (2004)
Anpassning av TRK-systemet från nationell
till regional nivå samt scenarioräkningar
för kväve – Tester för Motala Ström
- 95 Carl Granström (2004)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska
prognos- och varningstjänst under flödet i
södra Lappland juli 2004.
- 96 Carl Granström (2004)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska
prognos- och varningstjänst under flödet i
Småland juli 2004.
- 97 Carl Granström (2004)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska
prognos- och varningstjänst under flödet i
nordvästra Lappland juli 2004.
- 98 Tahsin Yacoub, Ylwa Westman, Håkan
Sanner, Bernth Samuelsson (2005)
Detaljerad översvämningskarta för
Eskilstunaån. Ett projekt inom KRIS-GIS
- 99 Carl Granström (2005)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska
prognos- och varningstjänst under vårfloden i
fjällen juni 2005
- 100 Tahsin Yacoub , Håkan Sanner (2006)
Vattenståndsprognoser baserade på
översiktlig kartering. En fallstudie.
- 101 Göran Lindström (2006)
Regional kalibrering av HBV-modellen
- 102 Kurt Ehlert (2006)
Svenskt Vattendragsregister
- 103 Charlotta Pers (2007)
HBV-NP Model Manual
- 104 Barbro Johansson, Göran Lindström, Jonas
Olsson, Tahsin Yacoub, Günter Haase,
Karin Jacobsson, Anna Johnell, Håkan
Sanner (2007)
Översvämningsprognoser i områden med
ofullständiga data. Metodutveckling och
utvärdering.
- 105 Carl Granström, Anna Johnell, Martin
Häggström (2007)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska
prognos- och varningstjänst under höga
flöden i sydvästra Sverige - nov 2006 till jan
2007
- 106 Johan Andréasson, Sara-Sofia Hellström,
Jörgen Rosberg, Sten Bergström (2007)
Översiktlig kartpresentation av klimat-
förändringars påverkan på Sveriges
vattentillgång
- Underlag till Klimat- och sårbarhets-
utredningen”



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 Norrköping
Tel 011 -495 80 00 · Fax 011-495 80 01