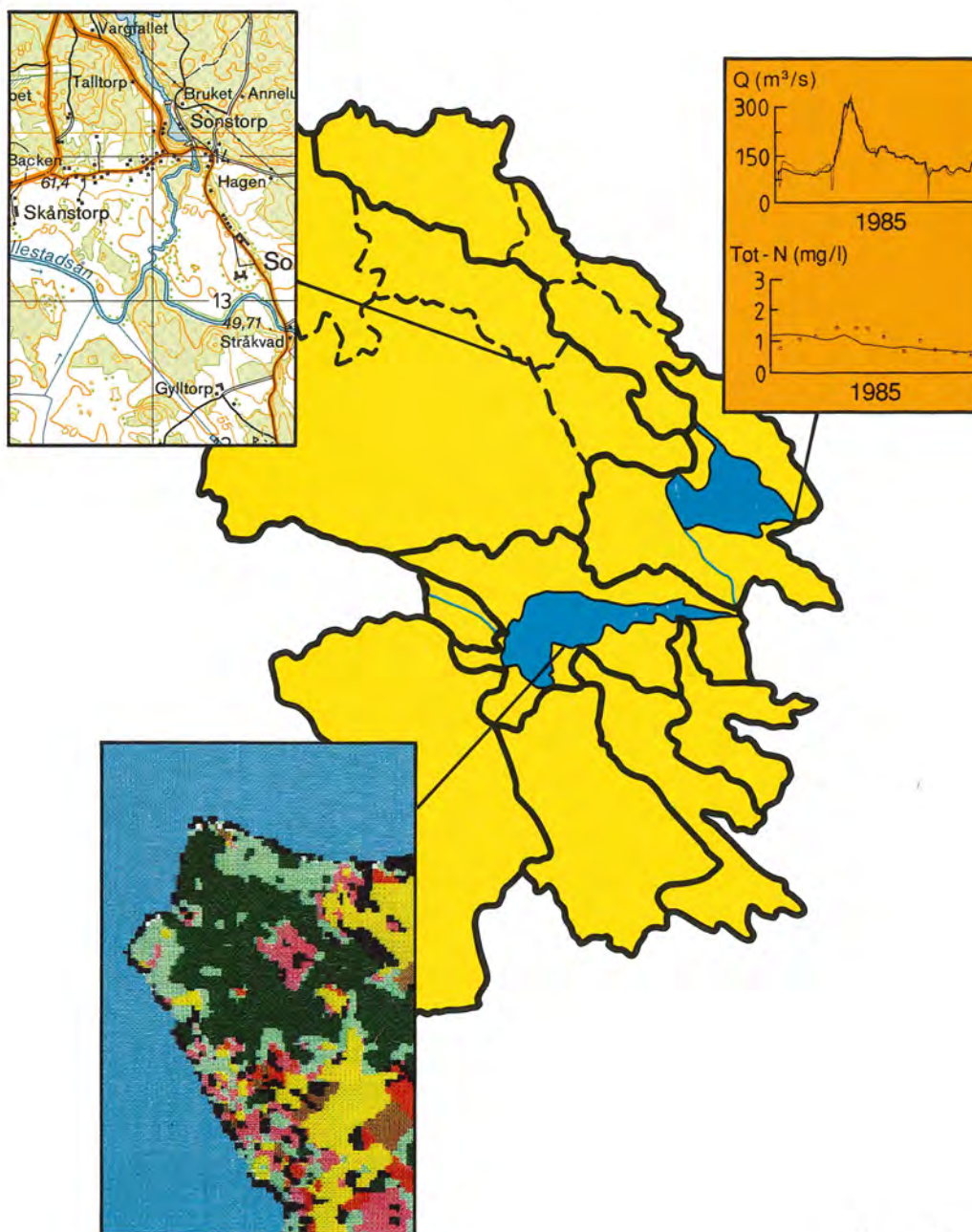


MARKLÄCKAGE OCH VATTENDRAGSTRANSPORT AV KVÄVE OCH FOSFOR I ROXEN/GLAN - SYSTEMET, ÖSTERGÖTLAND



Bent Göransson
Maja Brandt
Hans Bertil Wittgren

MARKLÄCKAGE OCH VATTENDRAGSTRANSPORT AV
KVÄVE OCH FOSFOR I ROXEN/GLAN - SYSTEMET,
ÖSTERGÖTLAND

Bent Göransson Maja Brandt Hans Bertil Wittgren

FÖRORD

Föreliggande arbete har gjorts på uppdrag av Projekt Roxen/Glan, som ett led i arbetet med att öka kunskapen om närsaltsomsättningen i Östergötland. Projekt Roxen/Glan drivs i samarbete mellan Länsstyrelsen i Östergötland, kommunerna Finspång, Norrköping och Linköping, samt Motala Ströms Vattenvårdsförbund.

Rapporten behandlar i första hand markläckage, vattendragstransport och sjöretention av kväve. Resultaten bygger på modellberäkningar med PULS-N-modellen, men för vattendragstransporten har i vissa punkter även gjorts beräkningar baserade direkt på observerade koncentrationsmätningar och mätt eller modellerad vattenföring. I vattendrag med provtagning har även fosfortransporten beräknats och nettobidraget från olika delområden uppskattats. En fosforläckagemodell, i analogi med kvävemodellen, är under utveckling på SMHI. Ännu kan emellertid inte källfördelningen av fosfor beskrivas som för kväve. Årstransporter för perioden 1975-89 av såväl kväve som fosfor redovisas i tabellform i Appendix A. Klassificeringen av avrinningsområdenas markanvändning redovisas i Appendix B.

Författarna vill tacka följande kollegor på SMHI för deras bidrag till slutresultatet: Barbro Johansson utarbetade program för beräkning av ämnestransporter, Mats Moberg bearbetade satellitbilden som legat till underlag för markklassificeringen, Per Sandén gjorde trendtest på utvalda tidsserier, Kristina Fahlén, Gun Sigurdsson och Vera Kuylenstierna redigerade och skrev ut rapporten. Tack också till Peter Ekefeldt, KM Laboratorierna AB, för hjälpen med konvertering av datafiler. Ekonomiskt stöd har erhållits från SNV (del av projektet "Modellering av närsalttransport från land till Östergötlands kustvatten - ett verktyg för analys av insatser mot effekterna av eutrofiering").

Norrköping 27 maj 1991

Bent Göransson Maja Brandt Hans Bertil Wittgren

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid.</u>
1 De viktigaste slutsatserna	1
2 Inledning	2
3 Målsättning	3
4 Beskrivning av området och mätdata	4
5 Metodik	8
5.1 Kalibrering av avrinningen	8
5.2 Beskrivning av kväveläckagemodellen	8
5.3 Indelning av avrinningsområden och i markanvändningsklasser	10
5.4 Kontroll av modellresultat	10
5.5 Punktkällor	11
5.6 Atmosfäriskt nedfall	13
5.7 Transportberäkningar baserade på uppmätta koncentrationer	13
6 Kväve	14
6.1 Markläckage och källfördelning av kväve	14
6.2 Modellerad kvävetransport till Roxen och Glan	16
6.2.1 Total-N	16
6.2.2 Nitrat-N	21
6.3 Jämförelse av modellerade och ur mätningar beräknade transporter av kväve ut ur Roxen och Glan	22
6.4 Retentionen av kväve i Roxen och Glan	26
6.5 Nettobidrag av kväve från olika källor till Bråviken	27
6.6 Kvävemodellen som ett verktyg	29
7 Fosfor	30
7.1 Fosfortransporter till och från Roxen och Glan	30
7.2 Nettobidrag av fosfor från olika områden	32
7.3 Resultat från tidigare studier	34
8 Åtgärder för att minska närsalttransporten	36
9 Sammanfattning	37
10 Referenser	39
Appendix A	
Appendix B	

1. DE VIKTIGASTE SLUTSATSERNA

- De stora skillnaderna i årsnederbörd medför att kväve- och fosfortransporterna varierar kraftigt mellan olika år. Vid Glans utlopp är det vanligt att transporterna varierar med en faktor 3 (kväve) resp. 2 (fosfor) mellan olika år. Mellan extrem-åren 1976 (torrt) och 1977 (blött) ökade transporten för kväve med en faktor 9 och för fosfor med en faktor 6.
- Markläckaget av kväve från de tre kommunerna Linköping, Norrköping och Finspång står för 1/4 av Motala Ströms nettobelastning på Bråviken. De stora reningsverken och Skärblacka bruk tillsammans bidrar också med 1/4, medan intransporten till området står för hälften av belastningen.
- Kväveläcket från mark i Linköpings kommun kommer till 3/4 från sädesodling, men dess andel av arealen är bara 1/3. I genomsnitt är detta markläckage ca 50 % större än kväveutsläppet från Linköpings avloppsreningsverk.
- Inom de tre kommunerna sker de största nettotransporterna av fosfor, räknat per ytenhet, i Motala Ström innan Roxen och i Svartån.
- Sjön Roxen var under hela undersökningsperioden (1975-89) nettoexportör av fosfor. Sjön Glan hade däremot en nettoimport av fosfor.

2. INLEDNING

Markanvändningens inverkan på vattenbeskaffenheten har under 80-talet successivt hamnat i fokus för eutrofieringsdebatten. Detta har varit en följd av dels den framgångsrika fosforreduktionen från punktkällor, med åtföljande minskning av eutrofieringen i limniska system, och dels den tilltagande eutrofieringen av havet, vilken i huvudsak är en effekt av ökad kvävetillgång (t ex Rosenberg et al., 1990). Eftersom större delen av kvävetransporten beror på markläckage, och fosfortransporten kan vara betydande trots reningen av punktkällor, är det naturligt att intresset för kopplingen mellan markanvändning och vattenbeskaffenhet har ökat.

För att så effektivt som möjligt göra något åt markläckaget behöver man veta dels varifrån olika andelar kommer, dels i vilken omfattning de transporterade mängderna reduceras på vägen. Den diffusa karaktären av källorna till kvävebelastningen gör det resurskrävande att helt och hållet mäta sig fram till källfördelning och retention. Bilden kompliceras ytterligare av att kväveläckaget varierar kraftigt med mellanårsvariationer i nederbörden, vilket gör det svårt att tolka förändringar i transporten. Beror de på väderfaktorer eller på mänsklig inverkan, t ex ändrad markanvändning?

Med en av SMHI utvecklad kväveläckagemodell (PULS-N) är det möjligt att beskriva transporten av kväve i vattendrag (Brandt, 1990c). Modellen ger samtidigt en dynamisk bild av källfördelningen och sjöretentionen av kväve. Pilotprojekt har härvidlag tidigare genomförts i Ringsjöområdet i Skåne (Brandt, 1990b).

För fosfor finns ännu ingen motsvarande modell. Med andra metoder har källfördelning och transport av fosfor i Roxen/Glan-systemet tidigare studerats av Karlsson (1989).

3. MÅLSÄTTNING

Arbetets målsättning har varit att:

- beskriva transporten av kväve och fosfor inom de delar av Motala ströms avrinningsområde, som faller inom Linköpings, Norrköpings och Finspångs kommuner;
- identifiera de mest betydelsefulla närsaltkällorna/delområdena;
- beräkna kväveretentionen i sjöarna;
- studera förändringar i transporter med tiden, speciellt beroendet av variationer i nederbörd mellan olika år;
- ta fram ett verktyg för studier av effekterna på kvävetransporterna av förändrad markanvändning inom olika delar av avrinningsområdet.

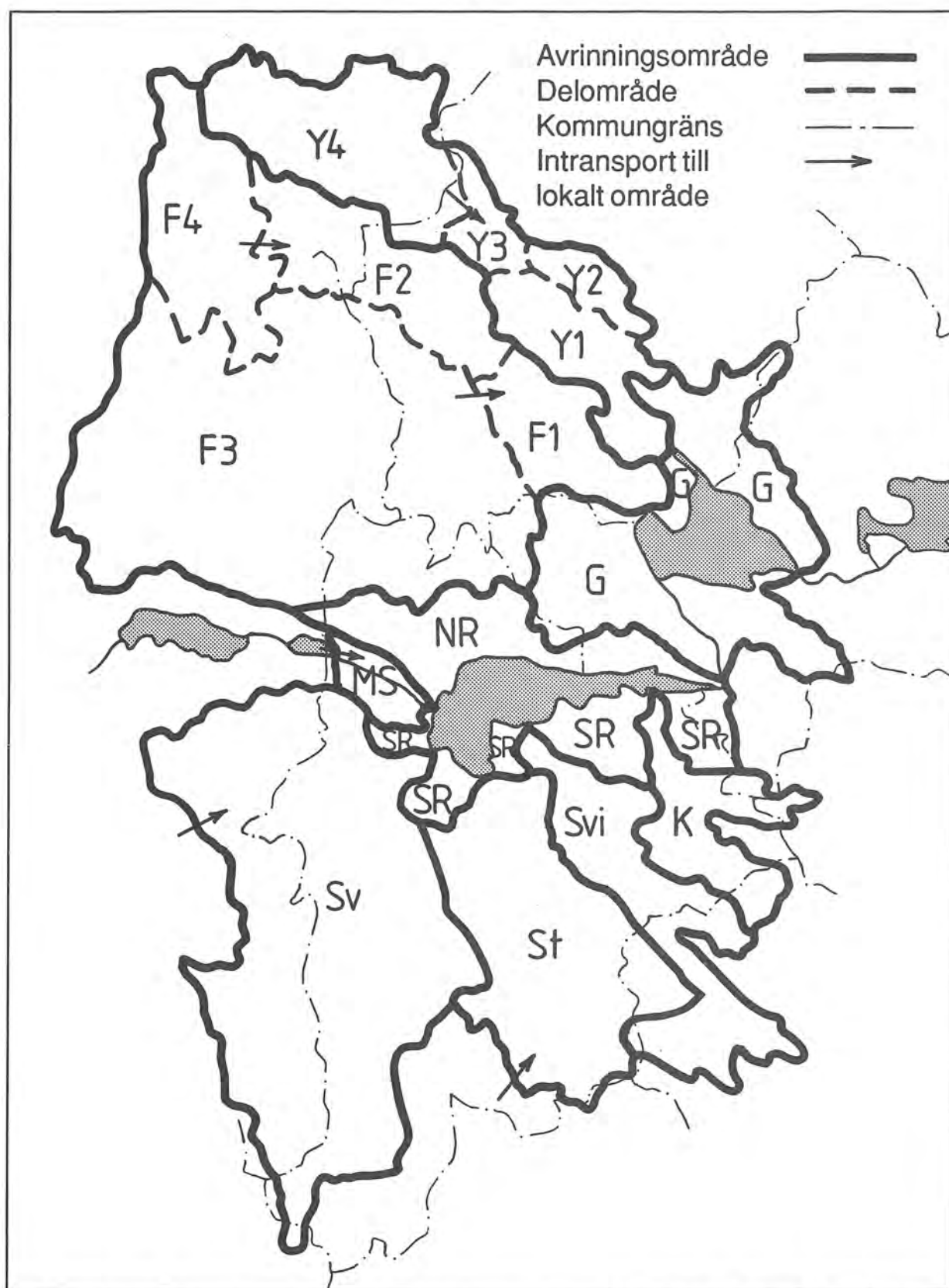
Modelleringar och beräkningar har gjorts för tidsperioden 1975-89. Denna avgränsning beslutades framförallt på grundval av att provtagningen inom recipientkontrollen innan dess hade mer blygsam omfattning, och att analysvärdenas tillförlitlighet före 1972-73 är osäkra. Det skulle bli ha blivit för svårt att verifiera kvävemodellen.

4. BESKRIVNING AV OMRÅDET OCH MÄTDATA

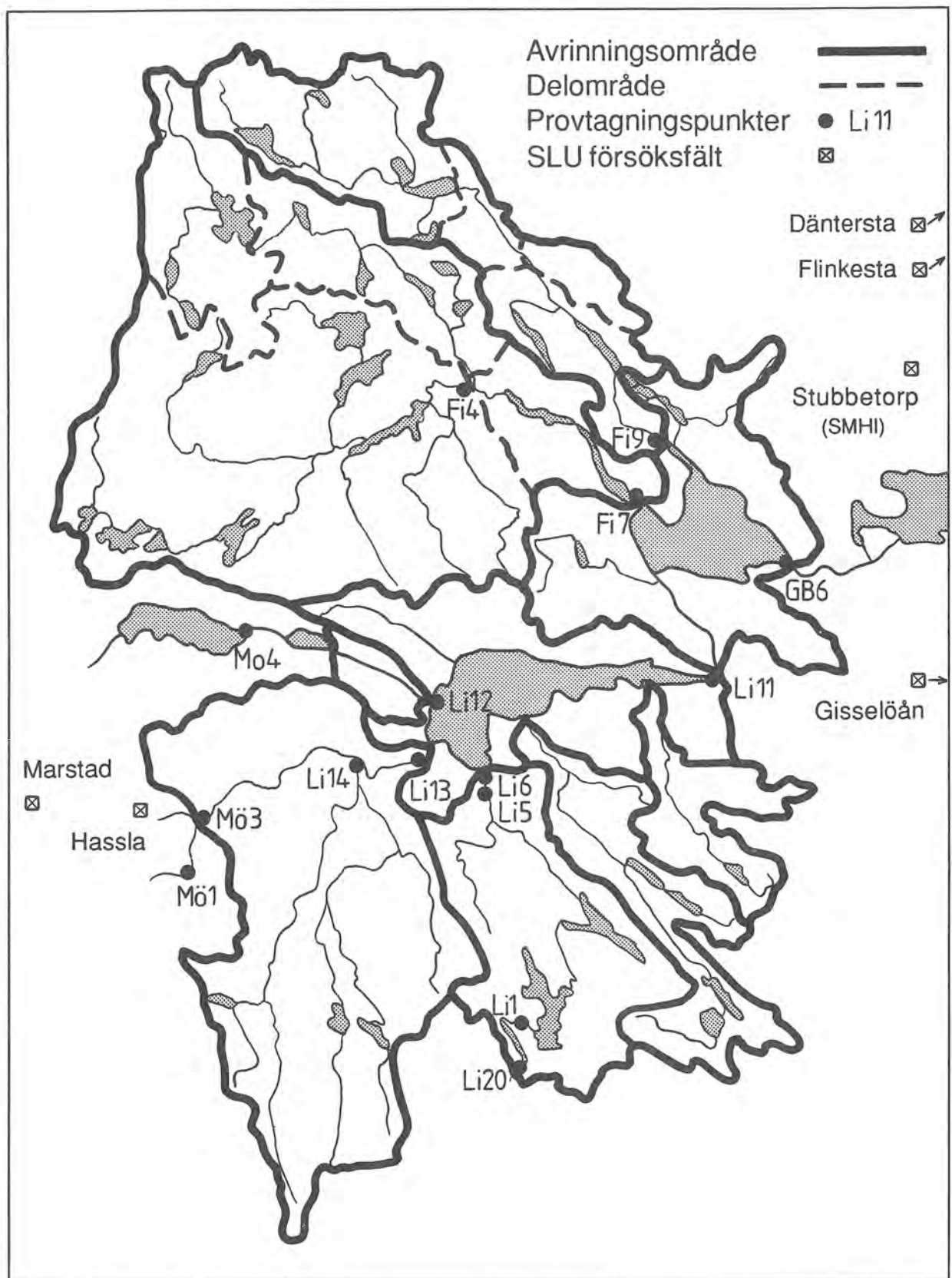
Det aktuella avrinningsområdet har delats in i underområden som i viss utsträckning kunnat avspegla kommungränserna (figur 1a). På så sätt har en uppdelning mellan det lokala och det ej lokala tillskottet till den totala ämnestransporten kunnat göras. Även de områden, som ligger runt Roxen och Glan och dränerar direkt till dessa sjöar, har medtagits i modelleringsarbetet. För Roxen redovisas de norra och södra tillrinningsområdena separat, medan för Glan gäller att alla närområden runt sjön summerats. Dessutom ingår området kring Motala ström, mellan Roxen och Glan, i Glans närområde.

I figur 1b visas provtagningspunkterna inom den samordnade recipientkontrollen (SRK). Mo 4 och GB 6 sammanfaller med provtagningsstationerna Borensberg resp. Norrköping inom programmet för övervakning av miljö kvalitet (PMK). För dessa två punkter har vi genomgående utnyttjat PMKs koncentrationvärden, men för enkelhetens skull behållit SRKs kodbeteckningar.

Koncentrationsvärdena har legat till grund dels för verifiering av kvävemodellen och dels, i kombination med mätt eller modellerad vattenföring, för beräkningar av ämnestransport. Provtagningsfrekvensen i de olika punkterna redovisas i Appendix A.



Figur 1a. Roxen/Glan-systemets avrinningsområden. NR = Norra Roxen, SR = Södra Roxen, MS = Motala Ström, Sv = Svartån, St = Stångån, Svi = Sviestadsån, K = Kumlaån, F = Finspångsån, Y = Ysundaån, G = området runt Glan.



Figur 1b. Provtagningspunkter för vattendragskontroll och försöksfält för markläckagestudier.

De typiska koncentrationerna av nitrat-N och organiskt N som använts i kvävemodellen har hämtats från Sveriges Lantbruksuniversitets (SLUs) försöksfält Hassla (åker) nära Skenaåns mynning i Svartån, från Flinkesta (åker, vall) i Södermanland, från skogsområdena Däntersta i Södermanland och Stubbetorp (SMHI) nordost om Norrköping. De kortare mätserierna från SLUs försöksfält i Marstad-området (Skenaån) och i Gisselöå-området (Vikbolandet) har också utnyttjats för fastställande av halterna för olika trakter, medan SLUs försöksfält i Stjärntorp norr om Roxen befinner sig i ett utströmningsområde och därför inte är representativ för läckage från en åker. Försöksfälten visas i figur 1b.

Typhalterna hämtade från åkerfälten med sädesodling i Hassla och Marstad ligger avsevärt högre än motsvarande halter från Flinkesta. För att avgränsa var de är representativa testades kvävemodellen i befintliga mätplatser i och nära Roxen-Glan-området. De mätserier som utnyttjats är: SLUs områden (med blandad markanvändning) Marstadbäcken, Stratombäcken, Sviestadsån och Gisselöån, MSVs station i Lillån (Li 14) samt SMHIs station Rytterbacken. Utifrån dessa tester uppdelades åkermarken i en mer läckagebenägen jord i ett område väst och syd om Roxen med sydlig avgänsning i en linje Mjölby - Linköping - Norsholm. Jordarna mot Skenaån och Svartåns del nedströms är lättare lerjordar med inslag av sand, och på sydsidan av Roxen är inslaget av organiskt material stort (enligt Lantbruksnämnden). För detta område utnyttjades typhalter från Hassla. För de övriga styvare lerjordarna utnyttjades de lägre typhalterna från Flinkesta.

5. METODIK

5.1 Kalibrering av avrinningen

Vid modellberäkningarna av avrinningen användes de hydrologiska parametrar, som SMHI kalibrerat fram för Östergötland i syfte att kunna modellera vattenföringen med PULS-modellen i vattendrag som saknar mätdata. PULS-modellen har bl a beskrivits av Carlsson et al. (1987).

5.2 Beskrivning av kväveläckagemodellen

SMHI har utvecklat en kväveläckagemodell för avrinningsområden med blandad markanvändning. Till modellen finns möjlighet att koppla sjöar och beräkna kväveretentionen i dessa, om kväveanalysdata finns tillgängliga vid någon eller några av sjöutloppen (Brandt, 1990b).

Läckaget beräknas som produkten av avrinningen, beräknad med PULS-modellen, och typiska koncentrationer för nitrat-N och organiskt N från olika markanvändningar. Typiska månadskoncentrationer hämtas från SLUs försöksfält och liknande mätningar i så enhetliga och närliggande områden som möjligt. Praktiskt går det till så att kväveläckaget från varje markanvändningsandel av ett avrinningsområde (t ex skog) beräknas som den dagliga produkten av modellerad avrinning från denna andel och typkoncentrationer i dräneringsvatten från detta markslag. De erhållna kvävetransporterna summeras sedan för att erhålla den totala transporten från området. Punktkällor kan adderas till den övriga transporten.

I ett inledande skede av utvecklingen av kvävemodellen testades beräkning av kvävet omsättning i marken (Bergström et al., 1987; Brandt, 1990a). Trots försök med kraftiga förenklingar visade det sig mycket svårt att dels få indata i den omfattning som krävdes, och dels att risken var mycket stor för att få en ohanterlig mängd parametrar (Brandt, 1990c).

Den nuvarande blandningsmodellen med transportberäkningar från olika markslag, tar ingen hänsyn till förändringar som sker i själva marken, utan bygger direkt på mätningar av kvävehalter i dräneringsvattnet från olika markslag. Det är därför väsentligt, att representativa försöksfält finns i tillräcklig omfattning. Det krävs också att indelningen av markanvändningen i området blir riktigt gjord. Det är viktigt att skilja åker från vall, betesmarker och övrig öppen men obrukad jord, eftersom kväveläckaget normalt skiljer sig mellan dessa markslag. Är detta tillgodosett, kan modellen utnyttjas för identifiering av bidragen från olika markslag och även för beräkning av effekten av förändringar av markanvändning. I modellen indelas markanvändningen i fem kategorier: skog, öppen mark, sjö, säd och vall. Oljeväxter och träd räknas in under säd, eftersom de antas ge lika stora läckage, medan t ex betesmarker räknas in under öppen mark.

De komplexa samband mellan fysik, kemi och biologi, som finns i sjöar, beskrivs mycket förenklat i modellen. Avrinningen från en sjö bestäms med en generaliserad avbördningskurva, som kan kalibreras vid tillgång på mätta avrinningsdata från sjön. Denna rutin tar hand om magasinering av vatten och kväve i sjön. Till den har kopplats en kväverutin, som styrs av 10-dygns löpande medellufttemperatur (som ansatts som ett mått på vattentemperaturen som styr retentionen) och på nitratmängden i sjön. Sjöparametrarna i modellen har visat sig stabila för en trakt och parametervärden framtagna för ett område kan relativt säkert utnyttjas i närliggande områden.

Sjö- och kväverutinen gör det möjligt att på ett dynamiskt sätt beräkna kväveretentionen i sjöar och även i själva åfåran. Eftersom den är beroende av de klimatologiska och hydrologiska förhållandena, varierar retentionen kraftigt mellan olika årstider och även mellan olika år. Detta tar modellen hand om, men de enskilda processerna i sjön (sedimentation, resuspension, biologiskt upptag och denitrifikation) beskrivs inte separat. Vid en större förändring av t ex belastningen till sjön kan det ske en förändring av t ex sedimentationen och så småningom på läckaget från botten. Detta kan inte den stationära modellen klara. En mer avancerad sjö- och kväverutin skulle kräva betydligt mer indata än man normalt disponerar över. Hittills har dock den enkla sjö- och kväverutinen gett tillfredsställande resultat (Brandt, 1990c).

5.3 Indelning av avrinningsområden i markanvändningsklasser

För modellberäkningarna är det viktigt att området indelas i olika markanvändningsklasser. I detta projekt har en satellitbild (LANDSAT TM) från mars 1990 utnyttjats för att man skall kunna urskilja skog (löv-, barrskog, hygge), odlad mark med vårsäd resp. höstsäd, höstoljeväxter, vall och bete, bebyggelse samt oklassificerad mark. Tester i tre församlingar på sydsidan av Roxen av den totala odlade arealen (inkl. bete) visar en god överensstämmelse mellan satellitbilds-analysen och lantbruksstatistik (utförd av Lantbruksnämnden i Östergötlands län). Ytan med vårsådd och träda underskattas vid analys av satellitbilden, vilket troligen till en del beror på att ytorna med träda ej låg helt bara på våren. Utifrån den befintliga satellitbilden var det inte möjligt att urskilja vad som var vall resp. höstsådd, vilket är viktigt, eftersom läckaget från vall och bete är lägre än från höstsådd mark. Denna uppdelning gjordes därför efter Statistiska Centralbyråns (SCBs) jordbruksstatistik.

Uppdelningen av olika markanvändning (skog resp. öppen mark) i områdena norr om Roxen och runt Glan utfördes av länstyrelsen från topografiska kartor. Indelningen i odlad mark och övrig öppen mark bestämdes schablonmässigt efter några tester med både satellitbilds- och kartanalys i områden runt Roxen. Uppdelningen mellan sädesodling och vall/bete utfördes enligt SCBs jordbruksstatistik.

Delområdenas indelningar i modellens fem markanvändningsklasser redovisas i Appendix B.

5.4 Kontroll av modellresultat

Resultat från modellkörningar har testats mot befintliga mätningar i avrinningsområdena i de fall det varit möjligt, dels för att kontrollera om typhalterna från försöksfälten verkar representativa, dels för att man skall få en rimlig kalibrering av sjöparametrarna. Det är viktigt med en riktig beskrivning av sjöns läge i modellen och vattnets uppehållstid i sjön. Två uppsättningar med sjöparametrar användes, en för Finspångsåns och

Ysundaåns avrinningsområden och en för de övriga områdena.

I regel var överensstämmelsen mycket god mellan modellkörningar och uppmätta koncentrationsdata, vilket gör att de modellerade transporterna måste anses ha god tillförlitlighet. Det förekommer år med avvikande läckage, såsom vintern 1989/90 för Östergötlands åkrar. Denna vinter kom snösmältningen och värmen ovanligt tidigt, med vårfloedesstart redan kring årskiftet, följt av en varm vårvinter. Mineraliseringen blev troligen stor, och eftersom åkermarken var ofrusen, kunde större mängder kväve läcka ut än under normala vintrar. Detta framgår av mätningarna både i försöksfälten och i de små jordbruksintensiva avrinningsområdena, men det kommer inte med i typhalterna, som används i modellen. Eftersom det här uppdraget till största delen genomfördes under hösten 1990 presenteras inga transporter för det året.

5.5 Punktkällor

Den med avseende på kväve mest betydande punktkällan för Roxen är Linköpings avloppsreningsverk vid Nykvarn med utsläpp på 375 - 470 ton/år (1987-89). Ca 80 % av kvävet var nitrat-N (Länsstyrelsen i Östergötlands län, 1988), en andel som har antagits gälla även för Skärblackas, Finspångs och Norrköpings avloppsreningsverk. Övriga reningsverk inom Linköpings kommun bidrar med mindre än 1.5 ton/år vardera och har därför försumrats i modellberäkningarna. Glesbygdutsläppen har av länsstyrelsen beräknats till 50 ton/år, utan hänsyn till eventuell retention i sjöar och i vattendragen (Länsstyrelsen i Östergötlands län, 1988), men utsläppen är inte inlagda i den nuvarande modellversionen.

För fosfor är Linköpings avloppsreningsverk också den största enskilda punktkällan med ett genomsnittligt utsläpp på 6.2 ton/år (1987-1989).

Efter Motala Ströms utflöde från Roxen finns det tre punktkällor med betydande utsläpp till Glan: Skärblacka bruk, Skärblackas avloppsreningsverk och Finspångs avloppsreningsverk (Axsäter). De två förstnämnda släpper ut sitt avloppsvatten i Motala Ström

mellan Roxen och Glan, medan det sistnämnda släpper ut sitt i Dovern som i sin tur avvattnas direkt till Glan. Resterande punktutsläpp är försumbara i förhållande till de kväve- och fosformängder, som transporteras till Glan. De flesta av uppgifterna nedan har lämnats av Miljö- och Hälsoskyddskontoret och Gatukontoret, Norrköpings kommun.

Skärblacka bruk släppte ut ca 230 ton kväve och 15 ton fosfor/år under 1982-89, varav 20 ton av kvävet antogs vara nitrat-N. För att inte göra modellberäkningarna för omständiga ansattes lika stora utsläpp för 1980-84 som för 1985-89 även om framförallt kväveutsläppen var lägre 1980-81. För perioden 1975-79 ansattes både kväve- och fosforutsläppen till 2/3 av 230 resp. 15 ton/år på grund av den dåvarande lågkonjunkturen.

Skärblackas avloppsreningsverk släppte ut ca 17 ton kväve och 0.5 ton fosfor/år under 1988 och 1989, vilket antagits gälla ända från 1975.

Finspångs avloppsreningsverk släpper ut ca 40 ton kväve och 1.5 ton fosfor per år. Av modelltekniska skäl låter man i kvävemodellen reningsverket mynna direkt i Glan. Efter modellberäkningar för enbart Dovern och jämförelser med uppmätta kvävehalter i Dovens utlopp ansattes en 25-procentig reduktion av nitrat-N från reningsverket. Det skall på årsbasis motsvara den retention som sker i Dovern innan kväveutsläppen når Glan. (En 20-procentig retention i Dovern av total-N utsläppen från reningsverket kan tyckas hög. Dock, ett avloppsreningsverk släpper ut ungefär samma mängder kväve året runt, och på sommaren kan retentionen antagligen vara högre än 20 %).

Norrköpings avloppsreningsverk släppte under tiden 1986-89 ut mellan 300 och 420 ton kväve/år. För 5-årsperioden 1985-89 har ansatts medelvärdet av dessa fyra år, 350 ton/år. Det bör nämnas att under 1990 hade kvävereningen tagits i fullt bruk varmed kväveutsläppet beräknades till 262 ton. Fosforutsläppen var under 1986-88 i genomsnitt 9 ton/år.

5.6 Atmosfäriskt nedfall

Det atmosfäriska nedfallet direkt på sjöarna har satts till ca 5 kg/ha sjöareal och år. Detta fördelades i modellen på dagligt nedfall.

5.7 Transportberäkningar baserade på uppmätta koncentrationer

När man skall beräkna ämnestransporter utgående ifrån uppmätta koncentrationer, måste man uppskatta koncentrationerna under perioderna mellan provtagningstillfällena. Det finns olika metoder för att göra detta. Den metod som använts här, linjär interpolation, befanns vid en jämförelse med flera andra metoder ge de mest robusta uppskattningarna vid en studie i några danska jordbruksår (Bruhn och Kronvang, 1990).

För att man skall kunna beräkna långtidsmedelvärden av ämnestransporten har interpolation gjorts också vid de enstaka tillfällena, då det varit långt mellan två mätningar. Vid uppehåll längre än 200 dygn har inga interpolationer gjorts, utom då 1985 års kväveintransport vid Li 1/Li 20 i Stångån beräknades. Tacksamt nog verkar kvävekoncentrationerna där inte fluktuera så mycket.

Transportberäkningarna har gjorts på dygnsbasis, d.v.s. att dygnsmedelvärden av vattenföringen (uppmätt eller modellerad) har multiplicerats med en interpolerad koncentration representativ för det aktuella dygnet.

I det följande skiljer vi mellan "modellerade" respektive "beräknade" ämnestransporter, där de senare hänför sig till de fall där interpolationsförfarandet använts för att uppskatta koncentrationerna. Dock skall det påpekas att även de "beräknade" transportererna i de flesta fall baserats på modellerad vattenföring.

Årsvärden för både modellerade och beräknade transporter av nitrat-N, total-N och total-P (endast beräknade) i samtliga punkter redovisas i Appendix A, medan bearbetade data presenteras och diskuteras nedan.

6. KVÄVE

6.1 Markläckage och källfördelning av kväve

Omfattningen av kväveläckaget beror på flera faktorer, varav markanvändning och nederbörd är de viktigaste. Att skillnaden mellan exempelvis åkermark och skog är stor är allmänt känt, men att också de nederbördsberoende mellanårsvariationerna kan vara betydande är inte lika ofta påtalat. I tabell 1 presenteras hur stora skillnaderna var mellan ett vått och ett torrt år i Roxen/Glan systemet. För en uppfattning om variabiliteten mellan olika regioner redovisas i tabell 1 även läckagekoefficienter som använts i några andra studier (Brandt, 1990b, Fleischer et al., 1989, Stålnacke och Stålnacke, 1990). Även dessa koefficienter har sitt ursprung i SLUs mätningar i försöksfält. (Detta gäller inte för betesmark där de ursprungliga belastningssiffrorna får betraktas som mer eller mindre goda uppskattningar p g a att mätdata saknas).

Med utgångspunkt från markläckage-koefficienterna i tabell 1 har andelen av kväveläckaget från olika markanvändning i Roxens och Glans lokala tillrinningsområden beräknats (tabell 2).

Tabell 1. Markläckage-koefficienter för kväve - uppskattningar från några olika studier. Kg/ha·år.

	Brandt Ringsjön	Brandt Roxen/Glan	Fleischer Lagan	Stålnacke Lagan
Årtal	1985	1985 ¹ 1989 ²	1976-1986	1985-89
Säd	} 42	19 ³ 7 ³	50	} 38
Vall		} 4 2	12	
Bete			3 - 6	
Skog	5	2 ⁴	1 ⁴	1

1. Kraftig vårflood.

2. Torrt år.

3. Medelvärde för sädesodling. För lättare lerjordar var koefficienterna 23 (1985) resp. 9 (1989).

4. "Skog" består av c:a 70 % skog och 30 % övrig mark (t ex vägar, hagmarker)

Tabell 2. Källfördelning av kväve i Roxens och Glans lokala tillrinningsområden, 1989.

a. Totalt markläckage och total areal.

	Linköping	Finspång	Norrköping
Totalt markläckage (ton)	489	77	54
Total areal (km ²)	1687	474	331

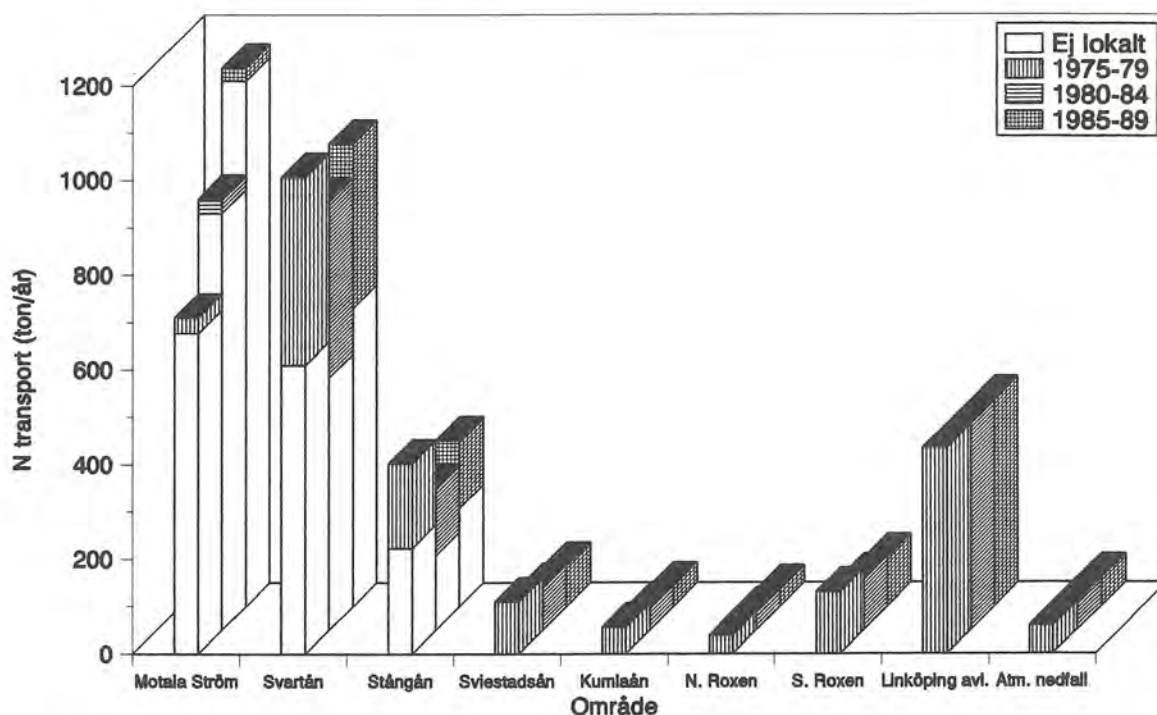
b. Olika markanvändningars andel av läckaget (l) och av arealen (a) i procent.

	Linköping		Finspång		Norrköping	
	l	a	l	a	l	a
Säd, lättare lerjordar	55	21	-	-	-	-
Säd, tyngre lerjordar	21	10	18	4	32	9
Vall	4	7	7	5	11	10
Skog och övrig öppen mark	20	62	75	91	57	81

6.2 Modellerad kvävetransport till Roxen och Glan

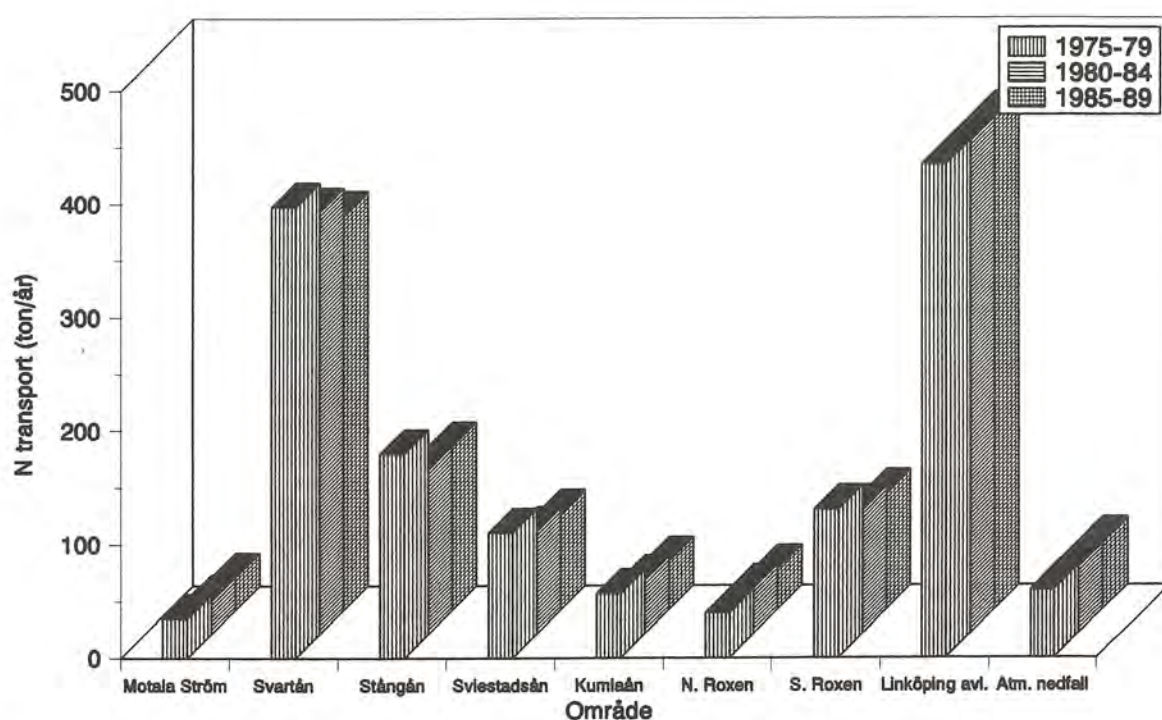
6.2.1 Total-N

Motala ströms huvudfåra svarar tillsammans med Svartån för de största kvävetransporterna till Roxen (figur 2). För Motala ström gäller det dessutom, att transporten har ökat med tiden under de senaste 15 åren. Det är halterna i Vättern, som har ökat, men vad som är orsaken till denna ökning har inte klarlagts (Statens Naturvårdsverk, 1990).



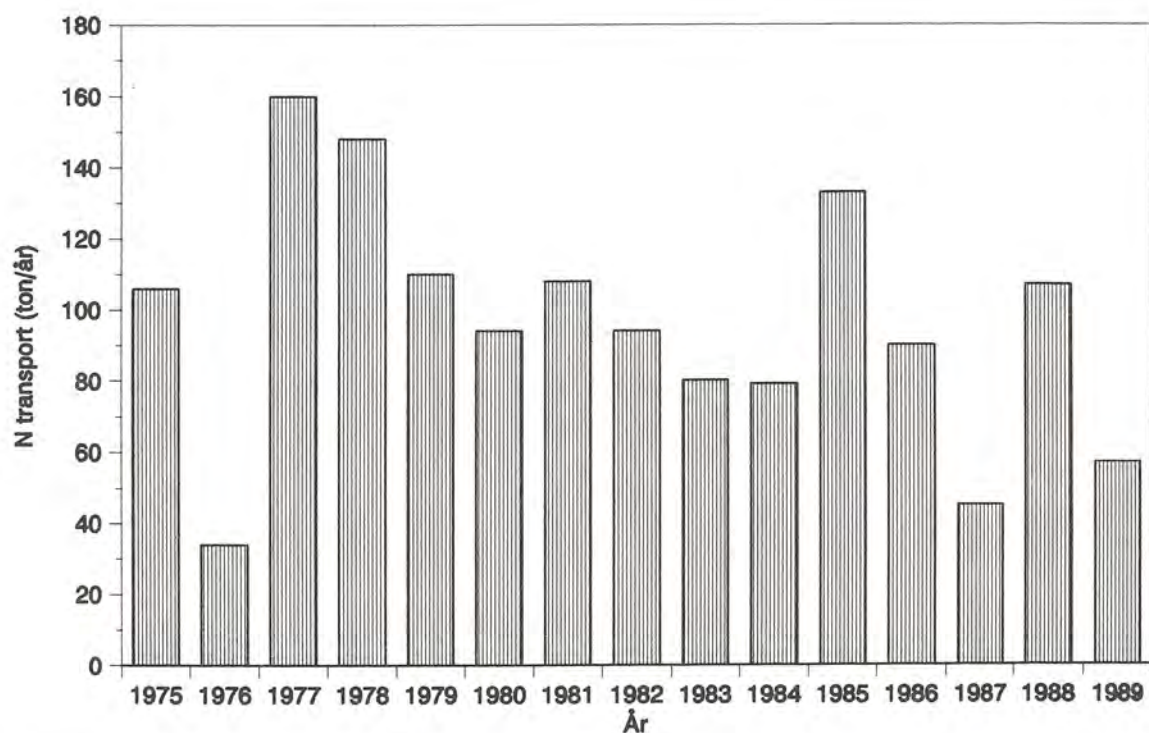
Figur 2. Kvävetransport till Roxen, 1975-89 (5-års medelvärden).

Om man ser till den andel av kvävetransporten, som genereras inom Linköpings kommun, så är avloppsreningsverket den största enskilda källan (figur 3). Den lokala kvävetransporten var högst den första femårsperioden p g a två år med intensiva vårflöden (1977 och 1978).



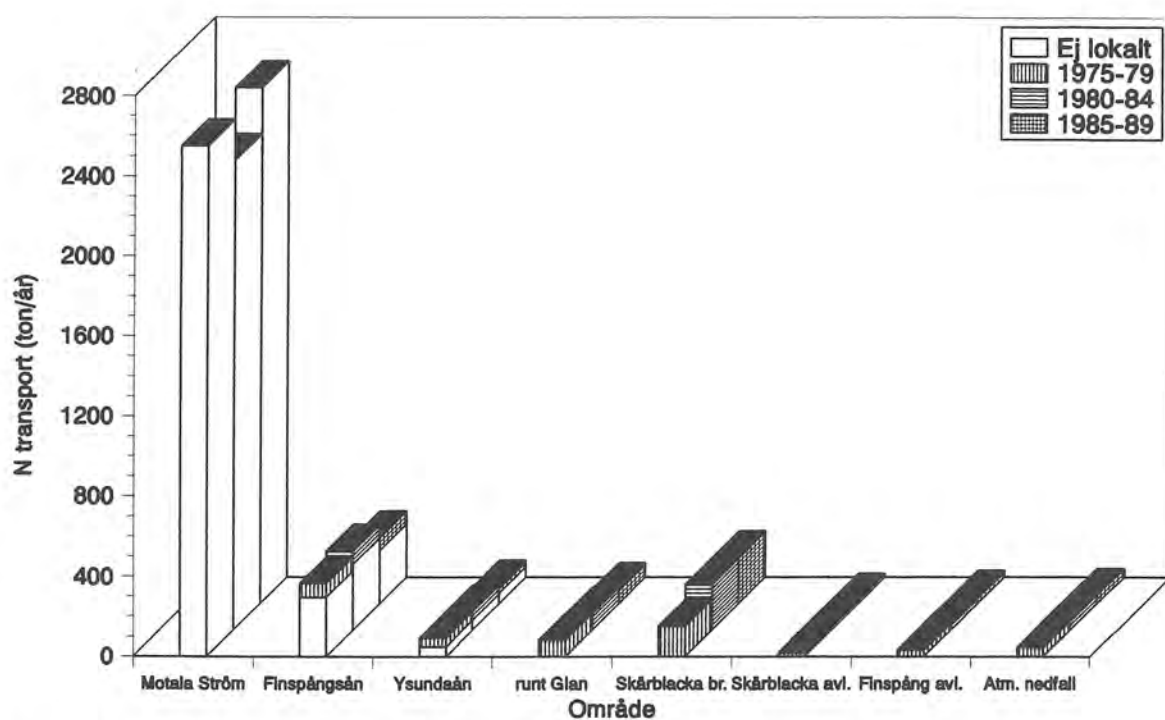
Figur 3. Lokal kvävetransport till Roxen, 1975-89 (5-års medelvärden).

En tidsserie av 5-års medelvärden kan ge en bild av eventuella trender men döljer naturligtvis variationerna mellan åren. I figur 4 exemplifieras dessa med transporter från Sviestadsån. Man kan där se den dramatiska effekten av ett vått år, som följer på ett torrt (1976-77). Det är möjligt att skillnaden var ännu större, eftersom modellen inte tar hänsyn till en eventuell upplagring av lätttröligt kväve under 1976, som kunde utlakas under 1977.

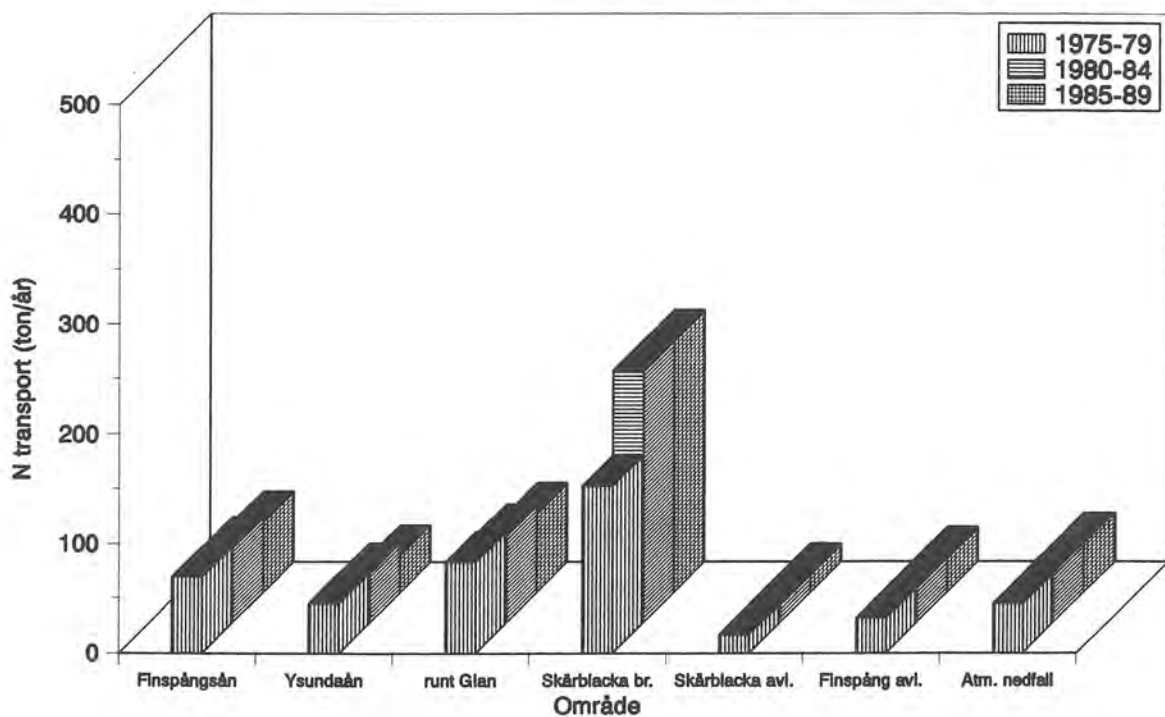


Figur 4. Kvävetransport i Sviestadsån, 1975-89.

Av tillflödena till Glan är Motala Ström än mer dominerande än till Roxen (figur 5), och de lokala tillskotten (figur 6) är relativt sett blygsamma. Bland dessa dominerar Skärblacka bruk, som framförallt släpper ut organiskt kväve.

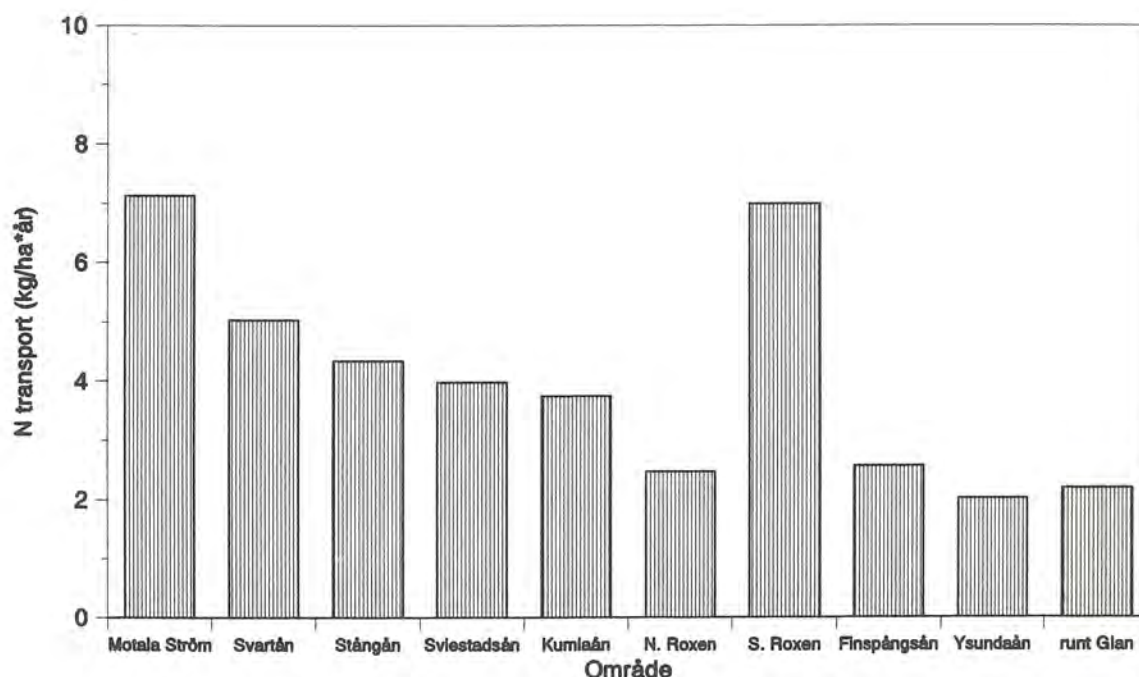


Figur 5. Kvävetransport till Glan, 1975-89 (5-års medelvärden).



Figur 6. Lokal kvävetransport till Glan, 1975-89 (5-års medelvärde).

När man lokalt skall försöka minska läckaget av kväve, är det kanske i första hand transporten per ytenhet som är av intresse. I figur 7 redovisas sådana transporter för områdena i Roxens och Glans tillrinningsområden. Punktkällorna är således inte med. Transporterna skiljer sig från markläckagekoefficienterna i föregående avsnitt. Skillnaden är att hänsyn tagits till kvävereduktion i sjöar och åfåror (före utloppen i de båda stora sjöarna) vid transportberäkningarna. Storleken på transporterna i figur 7 påverkas alltså, förutom av markanvändningen i det aktuella området, av sjörikedomen och avståndet till Roxen respektive Glan. Det skall påpekas, att transporterna i figur 7 endast gäller de lokala tillskotten till Roxen i fråga om Motala ström, Svartån och Stångån. För de övriga gäller transporterna däremot hela avrinningsområden.



Figur 7. Kvävetransport från markanvändning till Roxen och Glan, 1985-89 (5-års medelvärden). För Motala ström, Svartån och Stångån gäller transporterna endast de lokala områdena, medan hela avrinningsområden avses för övrigt.

6.2.2 Nitrat-N

Markläckage och transporter av nitrat-N till sjöarna har beräknats på motsvarande sätt som för total-N. I tabell 3 visas nitrat-N-transportens andel av total-N-transporten under perioden 1985-89. Andelen var, som en konsekvens av modellens konstruktion, ungefär densamma under de tidigare perioderna. Resultaten speglar dels, att andelen nitrat-N minskar med andelen skog i området (jämför t ex andelarna från Roxens norra respektive södra närområden), dels att retentionen i sjöar och åfåror är högre för nitrat-N än för organiskt N.

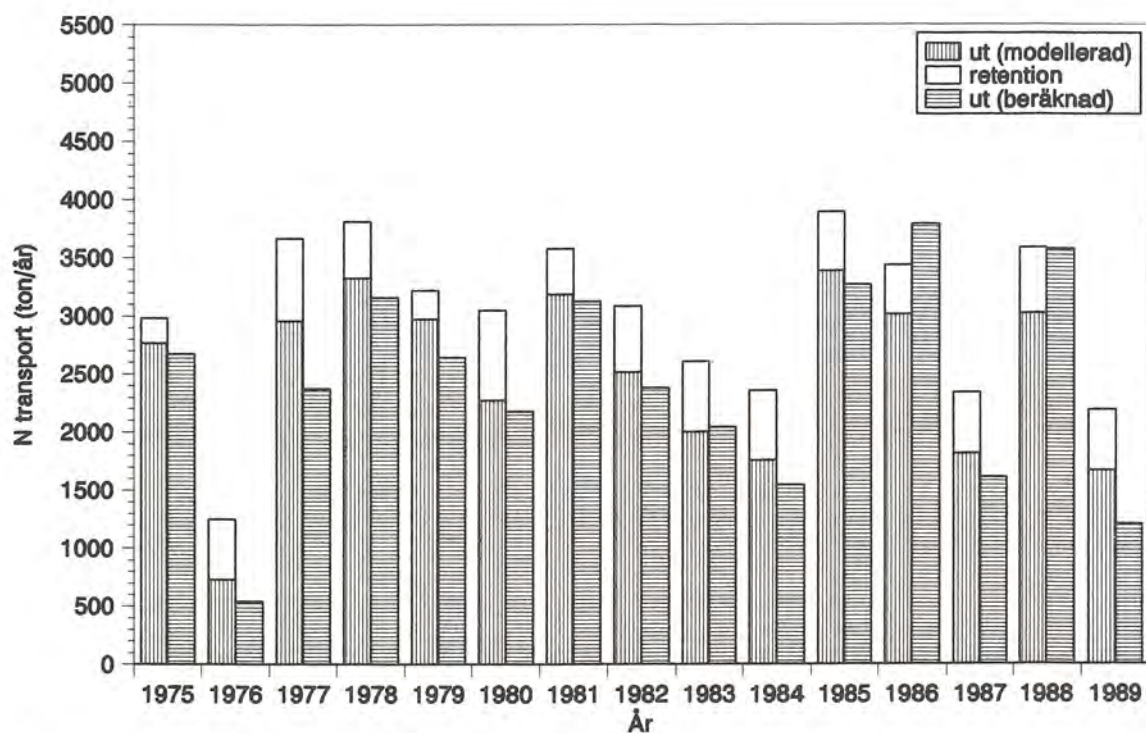
Tabell 3. Nitrat-N transportens andel av total-N transporten till Roxen resp. Glan, 1985-89 (5-års medelvärde). Värdena gäller i samtliga fall transporten vid å-mynningarna.

Motala Ström (till Roxen)	57 %
Svartån	64 %
Stångån	40 %
Sviestadsån	72 %
Kumlaån	65 %
N. Roxen	42 %
S. Roxen	85 %
Motala Ström (till Glan)	53 %
Finspångsån	34 %
Ysundaån	29 %
runt Glan (område G)	41 %

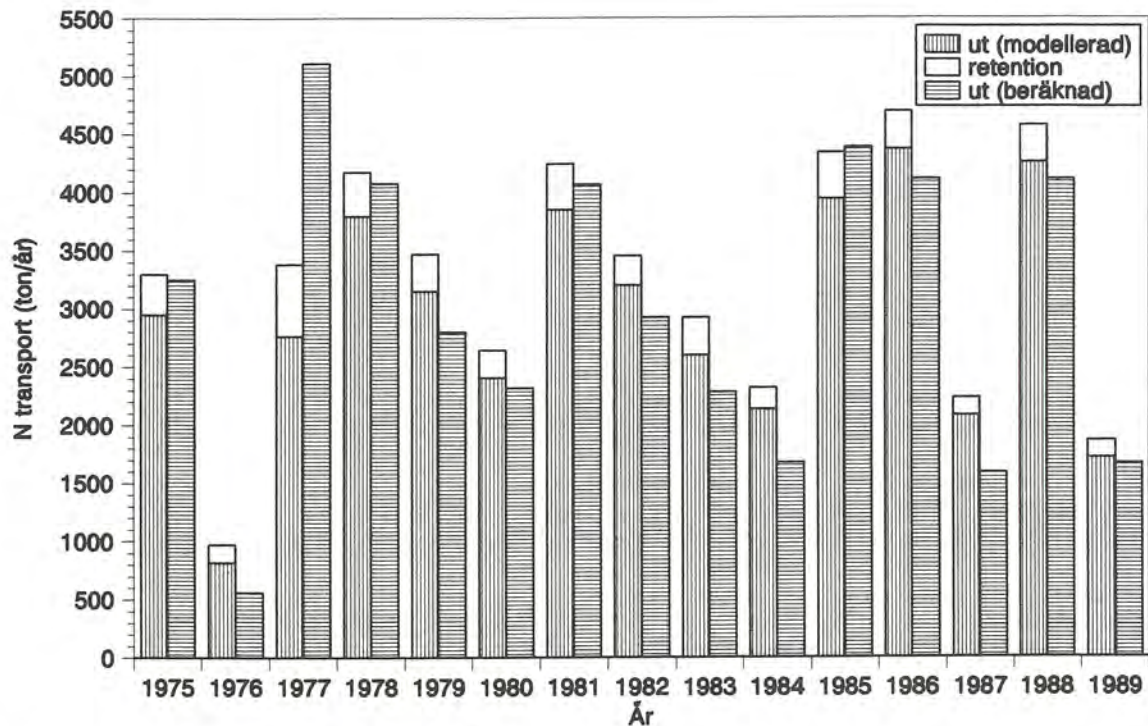
Det framgår ur tabell 3, att andelen nitrat-N är högre i tillflödena till Roxen än i tillflödena till Glan. Trots att total-N-transporten till Glan i allmänhet är något högre än till Roxen, gäller det att nitrat-N-transporten till Roxen är högre också i absoluta tal. Under 5-årsperioden 1985-89 var medeltransporten av nitrat-N till Roxen 2 020 ton/år och till Glan 1 650 ton/år. Total-N-transporterna var under samma tid 3 230 resp. 3 390 ton/år (se figur 11).

6.3 Jämförelse av modellerade och ur mätningar beräknade transporter av kväve ut ur Roxen och Glan

Vid både Roxens och Glans utlopp finns mätserier för vattenföring och kvävekoncentration. Dessa mätserier har använts vid anpassning av avbördningen av modellens avbördningsformler för sjöarna och för anpassning av retentionsparametrarna. Mätserierna kan därför inte betraktas som en regelrätt verifiering av modellen, men det bör framhållas att överensstämmelsen var god redan före anpassningarna. En jämförelse är ändå intressant, eftersom den indikerar år med avvikelser, som inte förklaras av vattenföringsskillnader, vilka modellen tar hänsyn till. Jämförelsema presenteras i figurerna 8 och 9.

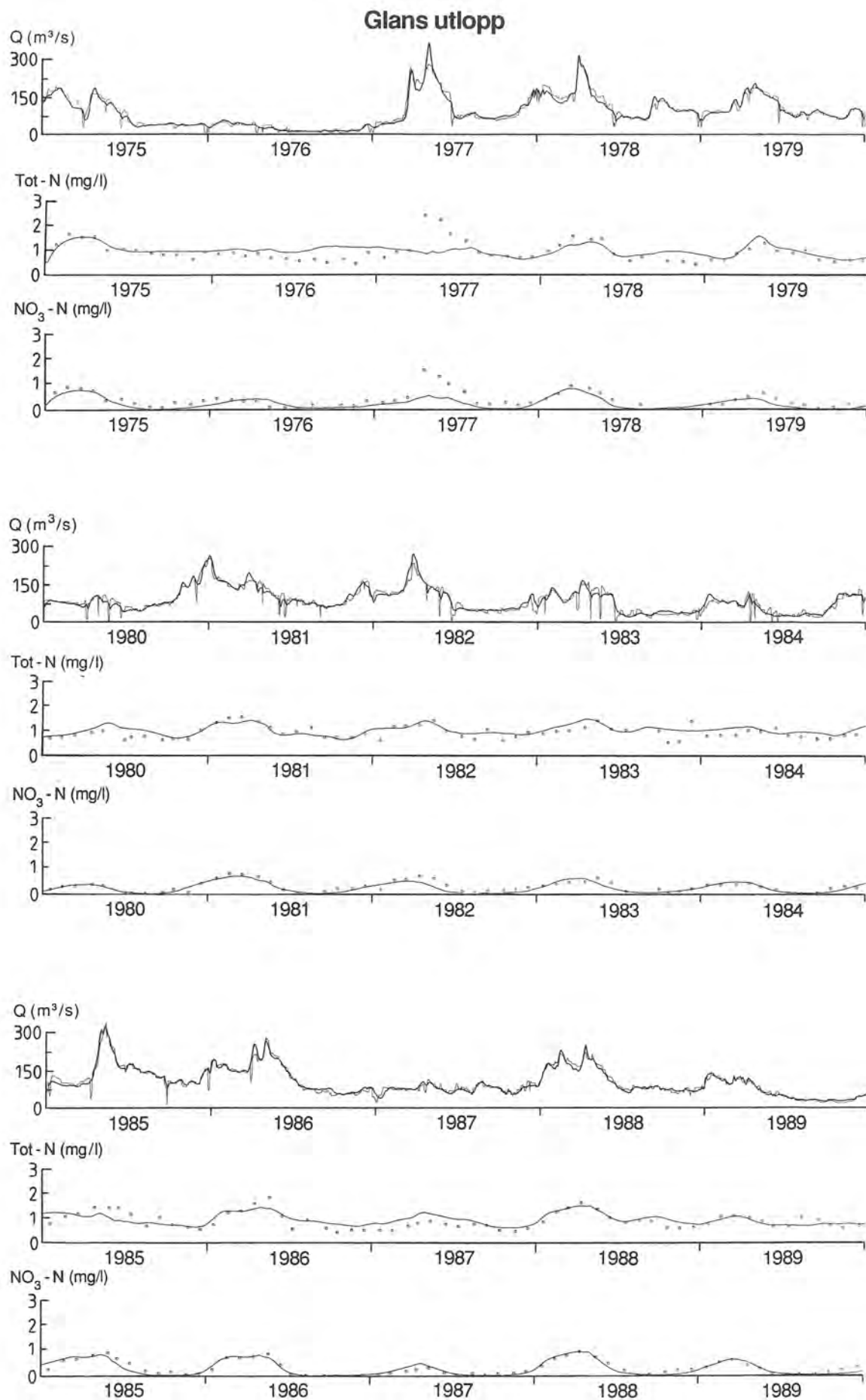


Figur 8. Kvävebalans för Roxen, 1975-89.



Figur 9. Kvävebalans för Glan, 1975-89.

Den mest dramatiska skillnaden uppträder i Glan under 1977. Här är det troligt, att modellen kraftigt underskattar transporten. Alla de mätta koncentrationerna under den mycket kraftiga vårfloden är högre än de modellerade (figur 10). Eftersom dessa koncentrationer inte har någon motsvarighet i det tillrinnande vattnet från Roxen, tyder detta på en omfattande intern belastning från Glan. En möjlig förklaring är att sedimentbundet kväve mineraliserats. Eftersom oberoende data från den samordnade recipientkontrollen visar överensstämmelse med PMK-data, är det föga troligt att det rör sig om analysfel. Också i Roxens utlopp var avvikelsen stor mellan modellerad och beräknad transport 1977, men här åt andra hållet. De motsatta reaktionerna i Roxen och Glan tyder på skillnader i dessa båda sjöars näringsomsättning.



Figur 10. *Utskrift av modellresultat för vattenföring, total-N koncentration och nitrat-N koncentration vid Glans utlopp (GB 6). Uppmätta kvävekoncentrationer är markerade med punkter. Tunn linje representerar uppmätt vattenföring och tjock linje modellerad vattenföring.*

En möjlig förklaring till den stora uttransporten ur Glan skulle kunna vara, att det höga vårflödet har fört syrerikt vatten till syrgasfria bottensediment innehållande lättmineraliserbart kväve, som ackumulerats under de tidigare torråren. I kontakt med syrgasrikt vatten har detta organiska kväve sedan kunnat mineraliseras och nitrifieras och ge de höga nitrat-N-koncentrationer som observerades. Att samma sak inte behöver ha skett i Roxen skulle kunna bero på att det ringa djupet gör att Roxens bottensediment lättare syresätts.

Även andra år, t ex 1986 och 1988 i Roxens utlopp, uppträder avvikelser som lånar sig åt olika tolkningar. Under 1986 är det osäkert, huruvida modellen går fel eller om det är två avvikande koncentrationsmätningar som inte är representativa för den aktuella perioden. Detta exempel nämns för att illustrera, att det räcker med avvikelser på ca 20 % i några koncentrationsmätningar vid höga flöden, och koncentrationer i storleksordningen 1 - 2 mg/l, för att skillnader på flera hundra ton skall uppträda i transportuppskattningarna.

Differensen mellan de modellerade och beräknade transporterna från Roxen är positiv under den första 5-årsperioden, för att bli negativ under den senaste (tabell 4). För Glan är förhållandet det omvända. Detta antyder förändringar i transporten, som inte beror på ändringar i klimatet och vattenföringen, vilka modellen ju tar hänsyn till. Ett icke-parametriskt trendtest på månadsvärden under de 15 åren (Hirsch and Slack, 1984) visar dock ingen signifikant trend i differensen ($p > 0.05$). Detta beror på att det är enstaka år som bidrar starkt till differenserna i tabell 4.

Tabell 4. *Differensen mellan modellerad och ur mätningar beräknad transport vid Roxens respektive Glans utlopp. Ton/år.*

Period	Roxen	Glan
1975-79	273	-465
1980-84	94	185
1985-89	-109	98

6.4 Retentionen av kväve i Roxen och Glan

Sjöretentionen har beräknats på årsbasis genom att den summerade modellerade intransporten, inklusive atmosfäriskt nedfall på sjöarna, jämförts med den summerade modellerade uttransporten. I Roxen varierade retentionen mellan 22 och 80 kg/ha·år och i Glan mellan 19 och 79 kg/ha·år under perioden 1975-89. Om man undantar 1977 för Glan (79 kg/ha·år) var den högsta retentionen där 50 kg/ha·år. Ett robust mått på retentionen, som i viss mån utjämnar effekter av varierande kvävelager i sjöarna mellan åren, erhålles om man bildar 5-års medelvärden (tabell 5).

Tabell 5. Retentionen av kväve i Roxen och Glan, 1975-89 (5-års medelvärden). Kg/ha·år resp. (%).

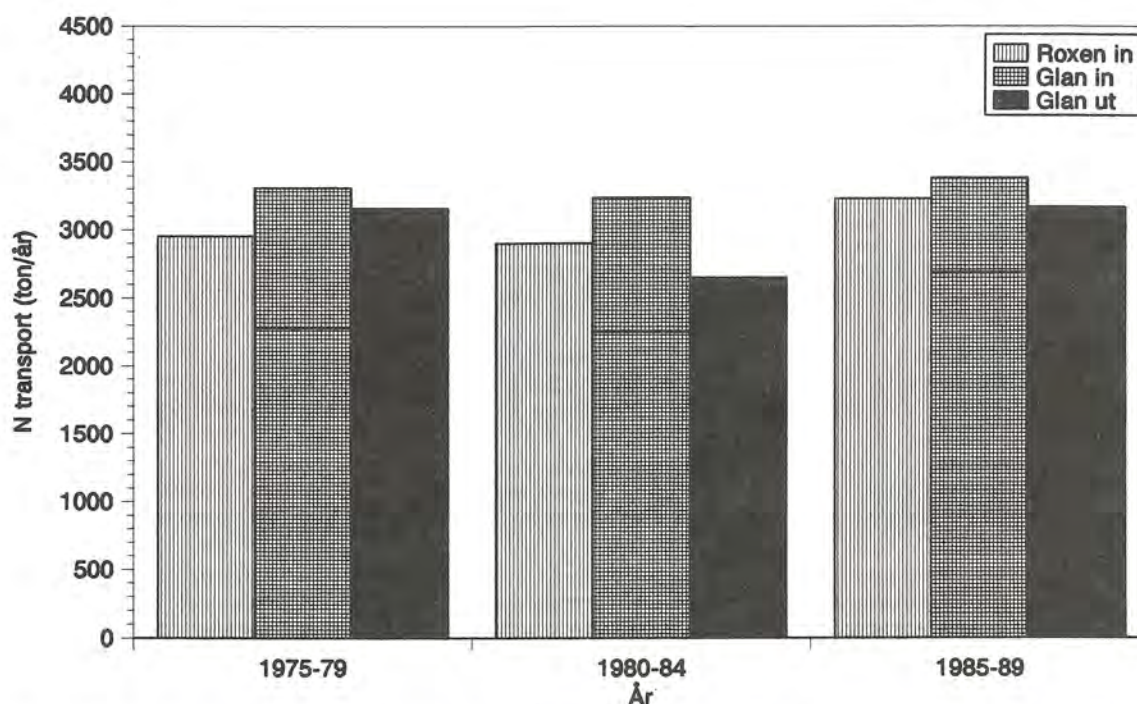
Period	Roxen		Glan	
1975-79	45	(15)	38 ¹⁾	(10)
1980-84	61	(20)	35	(9)
1985-89	52	(16)	34	(8)

¹⁾ År 1977 uteslutet vid beräkningen.

En viktig förklaring till att retentionen är högre i Roxen än i Glan, bör vara att Roxen har en större intransport av nitrat-N.

En liknande modellstudie som denna har gjorts i Ringsjön, Skåne, och där beräknades retentionen till 65 - 110 kg/ha·år (sjöareal = 10 %) (Brandt, 1990b). Ringsjön har väsentligt längre genomsnittlig uppehållstid än Roxen och Glan, 12 mån. jämfört med 2 resp. 3 mån. Det är även troligt, att också de något högre kvävekoncentrationerna i Ringsjöns tillflöden och det något varmare vattnet i Ringsjön spelar en betydande roll.

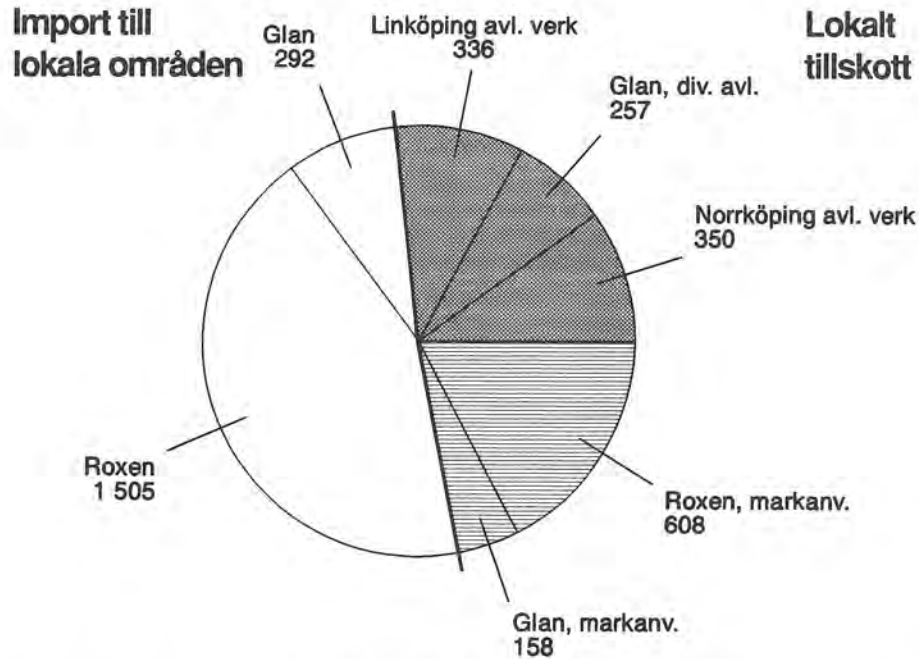
Angående retentionen i Roxen och Glan kan man sammanfattningsvis säga, att den gör att de mängder som transporteras ut ur Glan, inte avsevärt skiljer sig från den sammanlagda intransporten till Roxen (figur 11).



Figur 11. Sammanställning av kvävetransporter in och ut ur Roxen och Glan, 1975-89 (5-års medelvärden). Intransporterna är modellerade, medan uttransporterna är beräknade med uppmätta data. I stapeln "Glan in" utgörs den undre delen av bidraget från Roxen.

6.5 Nettobidrag av kväve från olika källor till Bråviken

Som sades inledningsvis, är det framför allt transporten av kväve till havet snarare än kväveläckaget i sig, som är av huvudintresse. Därför kan det vara intressant att se på källfördelningen av nettobidragen till Bråviken när man reducerat de olika tillskotten med sjöretentionerna i Roxen och Glan (figur 12). Man ser här tydligt punktkällornas betydande andel av belastningen på Bråviken, 27 % (1985-89). Under samma tid stod den lokala tillrinningen till Roxen tillsammans med tillrinningen till Glan för 22 %. Intransporten till området från Motala Ströms, Svartåns och Stångåns övre delar (se figur 1a) stod för 51 %.



Figur 12. Nettotransport av kväve till Bråviken från Motala Ströms avrinningsområde i ton/år, 1985-89 (5-års medelvärden). Tillskottet från övriga avlopp och markanvändning mellan Glans utlopp och Motala Ströms utlopp i Bråviken saknas.

Det är naturligtvis inte en i detalj riktig bild man erhåller, då samma relativa retention ansatts för alla källor. De relativa andelarna av organiskt respektive nitrat-N är olika för olika källor, t ex är utsläppen från Skärblacka bruk huvudsakligen organiskt kväve. Eventuellt kan den partikulära fraktionen av detta till stor del sedimentera, men det mineraliseras antagligen långsamt. Därmed blir detta kväve inte tillgängligt för nitrifikation och denitrifikation.

Ett annat förhållande av betydelse är att olika källor har olika fördelning i tiden. Medan de stora tillskotten från markanvändning kommer med vårfloden, är punktutsläppen relativt jämnt fördelade över året. Detta innebär, att retentionen för framför allt kommunalt avloppsvatten antagligen är högre än de siffror som angetts i tabell 5, eftersom det

kommunala avloppsvattnet står för en relativt stor del av kvävetransporten när totaltransporten är låg men den biologiska aktiviteten hög.

6.6 Kvävemodellen som ett verktyg

Kvävemodellen kan, när den är anpassad för ett avrinningsområde, tjäna som uppföljningsinstrument för att spåra eventuella förändringar i en mätserie, orsakade av mänsklig påverkan, och för att skilja dem från naturlig sådan, såsom nederbördsvariationer.

Det är även möjligt att göra beräkningar över vad exempelvis ändringar i markanvändning (t ex grödval - ökning av andel vall, införande av fånggrödor i stor utsträckning, energiskogsodling) har för effekt på näringstransporten i vattensystemet. För detta krävs dock, att man har mätt typhalter från t ex vall, säd med fånggrödor, energiskog o s v, som kan utnyttjas som nya indata i modellen. Förändringar, som kan påverka kvävetets kretslopp i sjöarna (t ex ändrad sedimentation), kan nuvarande modell ej klara av. Långsiktiga förändringar i markpoolen av kväve kan likaså vara ett problem.

Ytterligare en tillämpning av modellen är prognoser över belastningen inför vårfloden. Detta är speciellt intressant under vintrar med mycket snö. Modellen ger också möjlighet att snabbt följa upp om en vinterperiod inneburit ovanligt stor belastning på kustvattnen.

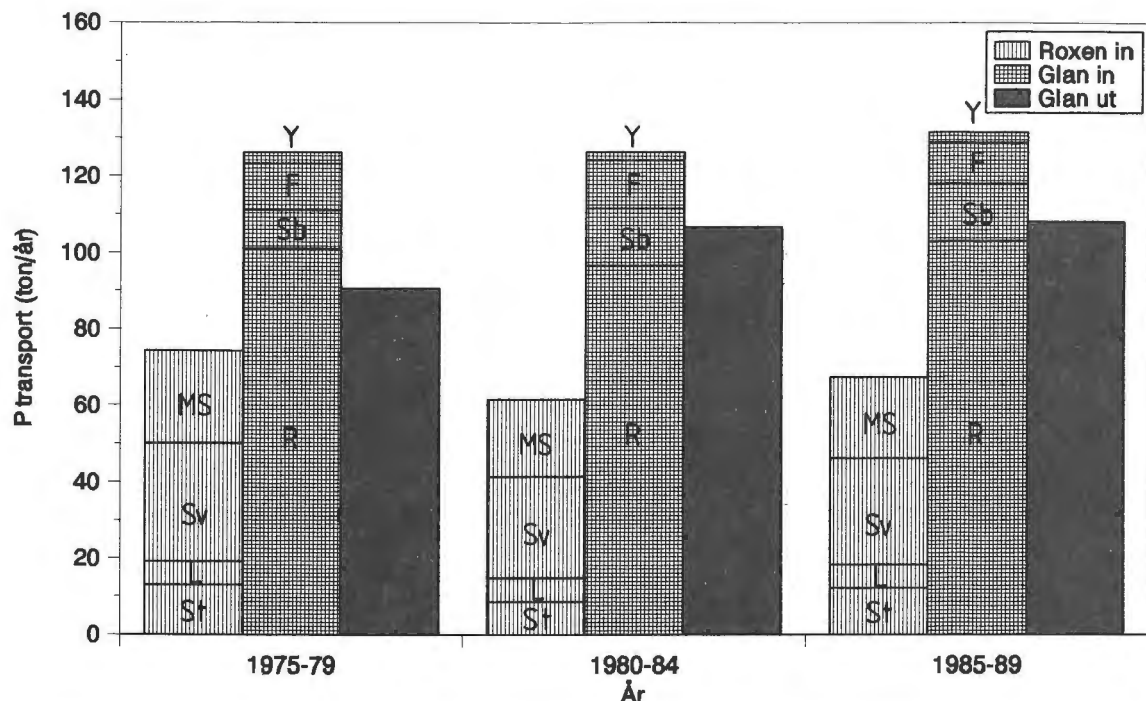
7 FOSFOR

Transportberäkningarna för fosfor har gjorts med traditionella metoder (se avsnitt 5.7), och inte modellerats som för kväve. Därför kommer vi att föra ett delvis annorlunda resonemang vid redovisningen av fosfortransporterna än vad vi gjorde om kvävetransporterna.

7.1 Fosfortransport till och från Roxen och Glan

En sammanställning av fosfortransporterna in och ut ur Roxen och Glan redovisas i figur 13. Framförallt ett förhållande är iögonfallande: transporten ut ur Roxen överstiger avsevärt summan av de kända intransporterna. Det är inte sannolikt att differensen skulle motsvaras av intransporter som inte är med i beräkningarna. Enligt Karlsson (1989) har Roxen varit nettoexportör av fosfor alltsedan tillförseln minskade genom utbyggnaden av det kemiska fällningssteget i Linköpings avloppsreningsverk 1974. Det ligger nära till hands att se nettoexporten som ett succesivt utläckage av den fosfor som tidigare lagrats i sedimenten, totalt mer än 1000 ton sedan 1950-talet (Karlsson, 1989). Det är vidare troligt att Roxen kommer att fortsätta läcka fosfor under avsevärd tid eftersom ingen tendens till minskning av transporten kan iakttas under 15-års perioden 1975-89.

Under hela 15-årsperioden har Glan haft en nettofastläggning av fosfor. Här kan man notera att Skärblacka bruk står för ett väsentligt tillskott av framförallt organiskt bundet fosfor.

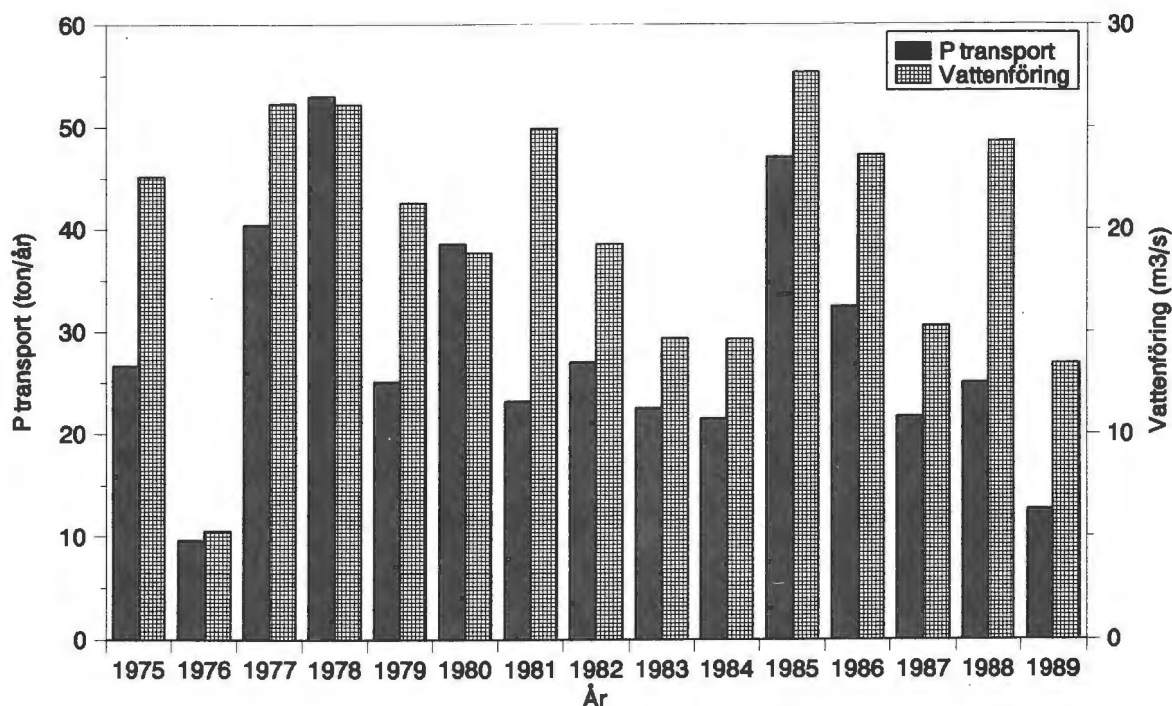


Figur 13. Sammanställning av fosfortransporter in och ut ur Roxen och Glan, 1975-89 (5-års medelvärden). Vissa mindre bidrag till intransporterna saknas eftersom mätningar saknas.

MS = Motala Ström, Sv = Svartån, L = Linköpings avloppsreningverk, St = Stångån, R = Roxen ut, Sb = Skärblacka bruk, F = Finspångsån, Y = Ysundaån.

Mellanårsvariationerna i de olika vattendragen i Roxen/Glan systemet beror till ungefär lika delar på variation i vattenföring respektive fosforkoncentration. Denna slutsats kommer vi till genom att i Karlssons arbete (1989) konstatera att de relativa standardavvikelseerna är av samma storleksordning för månadsmedelvärdena av vattenföringen som för fosforkoncentrationerna. Detta illustreras relativt väl i figur 14 där vi gör en jämförelse mellan Svartåns årstransporter av fosfor och årsmedelvattenföringarna. Om man jämför år med ungefär lika stor vattenföring, ser man att årstransporterna av fosfor ändå kan vara mycket olika.

Några trender som kan säkerställas statistiskt (linjär regression) går inte att finna för varken fosfortransporten eller vattenföringen i Svartån under perioden 1975-89.

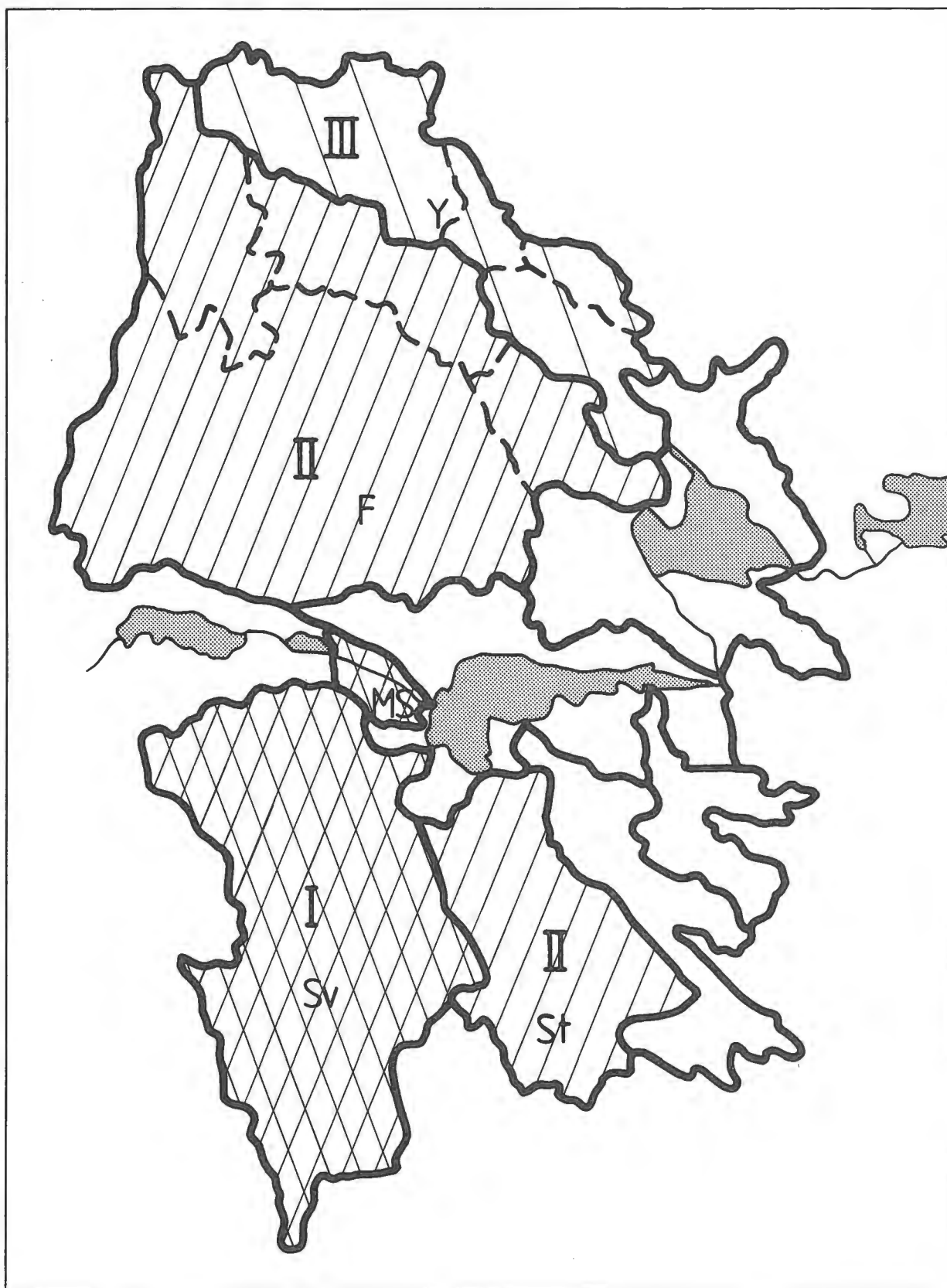


Figur 14. Årstransporter av fosfor och årsmedelvattenföringar för Svartåns utlopp.

7.2 Nettobidrag av fosfor från olika områden

Nettobidraget av fosfor från ett område har beräknats som skillnaden mellan uttransport och intransport.

De lokala områdena vid Motala Ström, före inloppet till Roxen, och Svartån ger de klart största nettobidragen per ytenhet, omkring 0.3 kg/ha·år. Det är dubbelt så mycket som för det lokala området vid Stångån och för Finspångsån, som i sin tur är dubbelt så höga som för Ysundaån (figur 15). Att det inte är utsläppen från Finspångs avloppsreningsverk som särskiljer Finspångsåns avrinningsområde (F) från Ysundaåns (Y), visar beräkningar för delområde F3 som ger samma värden som för hela F.



Figur 15. Klassificering av olika delområden med avseende på nettobidrag av fosfor per ytenhet. För de vita områdena har inga fosforbidrag kunnat beräknas. I = 0.20 - 0.40, II = 0.10 - 0.15, III = 0.05 - 0.08. Kg/ha·år.

Inte oväntat finner man att områdena med de största andelarna åkermark också ger de största nettobidragen (jämför tabell 6 med figur 15).

Tabell 6. Delområdenas klassificering i förhållande till andelen åkermark.

Klass	Område	Andel åkermark (säd)
I	MS	omkring 40 %
I	Sv	omkring 40 %
II	St	knappt 30 %
II	F	omkring 5 %
III	Y	omkring 5 %

Att nettotransporterna från St och F är av samma storleksordning, trots stor skillnad i andelen åkermark, beror på att avrinningen per ytenhet är betydligt större från F. 1984-86 var den 1.4 gånger större än från MS, Sv, St och Y. Om man ser till kvävetts nettotransport per ytenhet, så är den dubbelt så stor för St som för F. Dessa förhållanden kan vara en indikation på att ytavrinningen står för en större andel av fosfortransporten i område F än i övriga områden. Slutsatsen grundar sig på att kvoten mellan fosfor och kväve oftast är högre i ytavrinning än i vatten som transporterats genom marken, ett förhållande som beror på fosfors starka benägenhet att bindas till markpartiklar.

7.3 Resultat från tidigare studier

Senare års forskning har visat att fosfortransporten i Roxen/Glan systemet bestäms av fler faktorer och är inkomplexare än man tidigare antog (Karlsson, 1989). Det har legat nära till hands att anta att punktkällorna, stora och små, svarar för större delen av transporten eftersom de kända punktkällorna och den totala transporten är av samma storleksordning. Vid en mer detaljerad analys av olika delavrinningsområden visar det sig emellertid att överensstämmelsen mellan punktutsläpp och transport är sämre. För bl a Finspångsån, Svartåns lokala avrinningsområde samt närområdena runt Roxen var transporten avsevärt större än de samlade utsläppen från punktkällorna. Om man ser till storleken

på det förråd av fosfor som byggts upp i den odlade marken, genom att handelsgödsel under lång tid tillförts i större mängd än som bortförts med skördade grödor, är det naturligt, om en stor andel av det som transporteras i vattendragen orsakas av markläckage. Det finns emellertid ingen omedelbar koppling mellan gödselgiva och transport eftersom överskottet binds effektivt till markpartiklarna. Istället är det flera andra faktorer - nederbörd, jordart och brukningsmetoder - som tycks bestämma markläckaget.

Under 1960-talet noterades en kraftigt nedåtgående trend för fosfortransporten i såväl Svartåns som Glans utlopp. Det är anmärkningsvärt att nedgången skedde innan utbyggnaden av reningsverken med kemisk fällning av fosfor, och således inte kan förklaras av denna. Istället sammanföll nedgången med utbyggnad av den biologiska avloppsreningen och ändrade förhållanden inom jordbruksdriften, t ex ökad användning av handelsgödsel på bekostnad av stallgödsel och liten kalkanvändning. När det gäller den biologiska reningen kan man tänka sig att förbättrade syrgasförhållandena i vattendragen har inneburit en effektivare adsorption av fosfor till sedimenten. Det är nämligen välkänt att fosfor binds starkare till järnhaltiga partiklar i syrerik miljö än i syrefattig. Vad beträffar förändringarna i markanvändning är det svårare att till dessa entydigt knyta mekanismer som minskar fosforläckaget. Ökad användning av ammoniumbaserade gödselmedel och liten kalkanvändning är båda markförsurande, och effekter i form av en svag sänkning av jordens pH har i viss mån detekterats. Eftersom bindningen till lera då blir starkare, kan det ha minskat utlakningen av fosfor.

Markläckaget av fosfor mäts bl a i de olika försöksfält som Sveriges Lantbruksuniversitet driver (se figur 1b). Det visar sig att transporten i vattendragen av fosfor, liksom av kväve, ofta är lägre än vad markläckaget indikerar. För kväve är det till stor del denitrifikation, d v s omvandling av nitrat- till luft-kväve som står för förlusterna. För fosfor är det emellertid endast genom inlagring i sedimenten eller vegetationen som transporten kan reduceras. Detta innebär att vi för fosfor även kan ha en kvalificerad intern belastningskälla i vattendrag och sjöar. Eftersom dess dynamik, liksom markläckagets, är ofullständigt kända, finns det en fundamental osäkerhet vid källfördelning av transporterat fosfor.

Reinelt (1990) har genom att utnyttja Universal Soil Loss Equation (USLE) tagit fram ett index som identifierar kritiska områden för fosforläckage/erosion. Indexet bestäms av fyra faktorer: markanvändning, jordart, lutning och avstånd från vattendrag. Genom att utnyttja ett geografiskt informationssystem var det praktiskt möjligt att indexbestämma områden med en storlek av endast 125*125 m. Vid en studie av metodens användbarhet, i några delavrinningsområden i Svartåns avrinningsområde, fann man ett starkt linjärt samband mellan årlig fosfortransport och arealen av det som klassificerats som kritiskt område i de olika delavrinningsområdena. Detta gör att metoden kan vara intressant att använda i det praktiska miljövårdsarbetet.

8. ÅTGÄRDER FÖR ATT MINSKA NÄRSALTTRANSPORTEN

Metoder för att minska kväveläckaget har diskuterats en hel del under senare år, t ex av Fleischer (1989). Förslagen har rört sig om förändrade bruksmetoder (utökad vall- och energigrödodling, minskad gödselanvändning, vårspridning av stallgödsel, odling av fånggrödor etc.), kvävereduktion i kommunalt avloppsvatten och tillskapande av dammar och våtmarker i jordbrukslandskapet.

För att minska fosfortransporten är det antagligen en delvis annan uppsättning åtgärder som är mest aktuell. Inom jordbruket är det kanske framförallt olika erosionsförebyggande åtgärder som skulle kunna vara effektiva, liksom tillskapande av skyddszoner längs vattendragen. Dessa åtgärder beskrivs utförligt i en landskapsvårdsplan som upprättats för Höje å i Skåne (Ekologgruppen, 1990).

Våtmarkers och dammars förmåga att tjäna som kvävefällor är oomstridd, även om effektiviteten varierar starkt mellan olika studier. När det gäller fosfor kan åtgärder som minskar vattenhastigheten, t ex dammar, även minska transporten av sedimentbundet fosfor. Tillskapande av våtmarker och översilningsängar kan ha samma effekt när det gäller flödesdämpning, men om åtgärderna sker på jordbruksmark finns det även en risk att man ökar rörligheten i fosforpoolen, genom en förskjutning mot mer syrefria förhållanden. Det är viktigt att dessa aspekter på fosfor studeras samtidigt med kvävere-

tentionen, när man i en snar framtid kanske gör storskaliga försök med att överföra vattendrag snära jordbruksmark till våtmark.

9. SAMMANFATTNING

Markläckage, vattendragstransport och sjöretention av kväve har beräknats med en modell (PULS-N) i de delar av Motala Ströms avrinningsområde, som faller inom Linköpings, Finspångs och Norrköpings kommuner. Modelleringar har gjorts för åren 1975-89 och verifierats mot befintliga mätdata.

Modellen använder tre olika typer av indata: meteorologiska uppgifter om temperatur och nederbörd, geografiska uppgifter om vattendelarnas läge och arealens fördelning på olika markanvändning, samt kemiska data om typiska halter i avrinnande vatten från olika typer av markanvändning.

Markläckaget av kväve domineras av bidrag från åker med sädesodling. Från de delar av avrinningsområdet, som ungefärligen motsvaras av Linköpings kommun, svarade sädesodling för 31 % av arealen men 76 % av markläckaget. För Finspång var motsvarande siffror 4 resp. 18 % och för Norrköping 9 resp. 32 %. Dessa procentuella uppgifter på markläckaget gäller 1989 men varierar inte nämnvärt mellan olika år.

Kvävetransporten i vattendragen visar kraftiga mellanårsvariationer, som huvudsakligen förklaras av skillnader i nederbörd. I de fall, då modellerade värden avviker från värden beräknade ur uppmätta koncentrationer, är detta en indikation på förändringar som inte förklaras av väderfaktorer. Exempelvis var 1977 ett år med starkt förhöjd uttransport ur sjön Glan. Uttransporten kan inte förklaras tillfredställande av en motsvarande hög intransport, vilket tyder på en frisättning av kväve från sjösedimenten i Glan.

Både Roxen och Glan fungerar som kvävefällor. I genomsnitt kvarhölls, på basis av sjöyta, 53 kg/ha·år (17 %) i Roxen och 36 kg/ha·år (9 %) i Glan under perioden 1975-89. En orsak till skillnaden är antagligen att nitrat-N-transporten till Roxen är

högre än till Glan, trots att total-N-transporten är högre till Glan. Förhållandet mellan nitrat-N och organiskt N i sjöarna speglar att Glan inte är en lika utpräglad slättsjö som Roxen.

Beräkningarna, med hänsyn tagen till retentionen i sjöarna, visar att punktkällorna (de stora reningsverken och Skärblacka bruk) stod för 27 % av Motala Ströms nettobelastning på Bråviken under perioden 1985-89. Det lokala bidraget från markläckage i de aktuella kommunerna stod för 22 % och intransporten till kommunerna för 51 %.

Nettotransporterna av fosfor, räknat per ytenhet, är störst inom Linköpings kommuns delar av Svartåns och Motala Ströms (huvudfårans) avrinningsområden.

Transporten av fosfor från Roxen var under 1975-89 klart större än transporterna till Roxen. Under samma period hade Glan en nettoimport av fosfor.

10. REFERENSER

Bergström, S., Brandt, M., och Gustafson, A. (1987)
Simulation of runoff and nitrogen leaching from two fields in Southern Sweden.
Hydrological Sciences Journal 32, 191 - 205.

Brandt, M. (1990a)
Simulation of runoff and nitrate transport from mixed basins in Sweden.
Nordic Hydrology 21, 13 - 34.

Brandt, M. (1990b)
Modelling nitrogen transport from a basin of mixed land use - example from the lake Ringsjön drainage area, Sweden.
Vannet i Norden 23, 39 - 57.

Brandt, M. (1990c)
Human impacts and weather-dependent effects on water balance and water quality in some Swedish river basins. SMHI Report Hydrology nr 2, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, Norrköping.

Bruhn, A. J. och Kronvang, B. (1990)
Stoftransport i vandløb, beregningsmetodik og prøvetagningsfrekvens.
Miljöministeriet, Danmarks Miljöundersøgelser, Silkeborg, Danmark.

Carlsson, B., Bergström, S., Brandt, M., Lindström, G. (1987)
PULS-modellen - struktur och tillämpningar. SMHI Rapport Hydrologi nr 8, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, Norrköping.

Ekologgruppen. (1990)
Höje å landskapsvårdsplan. Meddelande nr. 1990:2, Länsstyrelsen i Malmöhus län, Malmö.

Fleischer, S., Andréasson, I.-A., Holmgren, G., Joelsson, A., Kindt, T., Rydberg, L., och Stibe, L. (1989)
Markanvändning - vattenkvalitet, en studie i Laholmsbuktens tillrinningsområde.
Meddelande 1989:10, Länsstyrelsen i Hallands län, Halmstad.

Hirsch, R.M., och Slack, J.R. (1984)
A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence.
Water Resources Research 20, 727 - 732.

Karlsson, G. (1989)
Dynamics of nutrient mass transport - a river basin evaluation. Linköping Studies in Arts and Science 40, Universitetet i Linköping.

Länsstyrelsen i Östergötlands län (1988)

Vattenmiljön i Östergötland - underlag för vattenvårdsprogram. Länsstyrelsen i Östergötlands län, Linköping.

Reinelt, L. (1990)

Nonpoint source water pollution management - monitoring, assessment and wetland treatment. Linköping Studies in Arts and Science 57, Universitetet i Linköping.

Rosenberg, R., Elmgren, R., Fleischer, S., Jonsson, P., Persson, G., och Dahlin, H. (1990)

Marine eutrophication case studies in Sweden.

Ambio 19, 102 - 108.

Statens Naturvårdsverk (1990)

Stora sjöar - miljösituationen och åtgärdsförslag.

SNV Rapport 3839, Statens Naturvårdsverk, Stockholm.

Stålnacke, P., och Stålnacke, M. (1990)

Trendanalys och källfördelning av kvävebelastningen i Lagans avrinningsområde.

LiU-MAT-EX-90-11, Matematiska institutionen, Universitetet i Linköping.

APPENDIX A

Här redovisas i tabellform de ämnestransporter som är sammanställda i rapportens huvuddel. Kodbeteckningen i tabellernas övre vänstra hörn syftar på den samordnade recipientkontrollens kodbeteckningar på provpunkterna. Till höger om kodbeteckningarna följer en geografisk beskrivning av provpunkten. I vissa fall innehåller denna beskrivning områdeskoder. Alla provpunkts- och områdeskoder finns utsatta på kartorna i figurena 1a och b i rapportens huvuddel.

Förutom ämnestransporter, uttryckta i ton/år, innehåller tabellerna uppgifter om den årliga provtagningsfrekvensen. I början och slutet av provtagningsperioden uppges oftast inga värden på fosfortransporten. Detta beror på att vi har valt att inte extrapolera koncentrationsvärden, då vi anser att årstransporterna för år med extrapolerade värden inte skulle bli jämförbara med de som är beräknade med enbart interpolerade värden. För Li 1/Li 20 och Li 11 var det dock nödvändigt med extrapoleringar.

Tabellerna åtföljs av en kommentar som beskriver hur kvävetransporterna tagits fram i den aktuella punkten. För fosfortransporterna gäller att de alltid är beräknade på basis av uppmätta koncentrationer, medan vattenföringen kan vara antingen uppmätt, modellerad eller en kombination av uppmätt och modellerad.

Tabellerna presenteras i följande ordning:

<u>Provpunkt el. område</u>	<u>(Vattendrag)</u>
Mo 4, Li 12, Mö 1, Mö 3, Li 14, Li 13, Li 1/Li 20, Li 5, Li 6, Sviestadsån, Kumlaån, Södra Roxen, Norra Roxen, Li 11 (a), Li 11 (b), Fi 4, F4 (Emmaån), Fi 7, Y4 (Ysundaån), Fi 9, G (runt Glan), GB 6 (a), GB 6 (b)	(Motala Ström) (Svartån) (Stångån) (Motala Ström, Roxens utlopp) (Finspångspån) (Ysundaån) (Motala Ström, Glans utlopp)

Mo 4 Motala Ström, Borens utlopp

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>	<u>Tot-P</u>	<u>Prov/år</u>
1975	566	272	15,0	12
1976	192	71	6,4	12
1977	781	438	16,9	12
1978	1082	583	24,5	12
1979	868	452	19,5	12
1980	832	426	20,6	12
1981	1327	692	30,6	12
1982	980	599	20,6	10
1983	796	423	12,5	12
1984	582	265	9,0	12
1985	1220	694	15,6	12
1986	1467	827	19,8	12
1987	951	519	14,6	12
1988	1343	825	25,1	12
1989	790	444	15,4	12

Både kväve och fosfortransporterna har beräknats med uppmätta koncentrationer (PMK) och proportionerade vattenföringar (från Motala kraftverk).

Li 12 Motala Ström, utflödet till Roxen

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>	<u>Tot-P</u>	<u>Prov/år</u>
1975	590	293	-	4
1976	200	78	19,7	4
1977	786	436	25,6	4
1978	1103	596	26,2	4
1979	877	455	20,5	4
1980	839	430	18,1	12
1981	1339	696	15,7	12
1982	979	514	30,7	12
1983	806	417	21,7	12
1984	595	273	14,6	12
1985	1221	690	23,8	12
1986	1424	808	24,5	12
1987	931	497	20,4	12
1988	1334	809	20,7	12
1989	784	432	16,4	12

Intransporterna av kväve till det lokala området (vid Norrbysjöns utlopp) sattes lika med transporterna vid Borens utlopp (se Mo 4). Kvävetransporterna ned till utflödet modellerades.

Mö 1 Svartån, nedströms Mjölby

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-P</u>	<u>Prov/år</u>
1975	-	4
1976	6,7	4
1977	15,5	4
1978	20,1	4
1979	11,6	4
1980	12,2	12
1981	9,6	12
1982	11,8	12
1983	8,9	12
1984	7,4	12
1985	14,7	12
1986	14,6	6
1987	9,1	6
1988	12,0	6
1989	9,0	6

Transporterna beräknades med uppmätta koncentrationer och proportionerade vattenföringar (från Rövaretorpet/Tolhem vid Sommens utlopp).

Mö 3 Svartån, nedströms Skenaåns inflöde

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>	<u>Tot-P</u>	<u>Prov/år</u>
1975	433	214	-	4
1976	249	139	5,8	4
1977	842	479	26,5	4
1978	770	441	26,1	4
1979	898	269	16,2	4
1980	628	319	16,4	4
1981	663	410	21,9	4
1982	571	284	-	4
1983	450	253	-	4
1984	465	243	-	4
1985	925	524	-	0
1986	841	453	-	0
1987	468	240	-	0
1988	755	466	-	0
1989	332	244	-	0

Kvävetransporterna beräknades med uppmätta koncentrationer och proportionerad vattenföring (från Rövaretorpet/Tolhem vid Sommens utlopp) för Mö 1, som summerades med modelleringar för Skenaån och Svartån mellan Mö 1 och Mö 3.

Li 14 Lillån, utflödet till Svartån

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-P</u>	<u>Prov/år</u>
1975	-	4
1976	5,9	4
1977	23,4	4
1978	13,7	4
1979	31,6	4
1980	9,9	4
1981	8,8	4
1982	11,2	4
1983	6,3	4
1984	-	4
1985	-	0
1986	-	0
1987	-	0
1988	-	0
1989	-	6

Modellerade vattenföringar.

Li 13 Svartån, utflödet till Roxen

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>	<u>Tot-P</u>	<u>Prov/år</u>
1975	1007	698	-	4
1976	334	195	9,6	4
1977	1415	935	40,4	4
1978	1293	842	53,0	4
1979	990	592	25,1	4
1980	1016	627	38,6	12
1981	1058	716	23,2	12
1982	906	545	27,0	12
1983	785	518	22,5	12
1984	758	474	21,5	12
1985	1364	915	47,1	12
1986	1204	720	32,5	12
1987	625	357	21,7	12
1988	1153	774	25,0	12
1989	542	379	12,7	12

Modellerade kvävetransporter. För intransporterna till det lokala området, se Mö 3.

Li 1/Li 20 Stångån, nedströms utloppet från Järnlunden

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>	<u>Tot-P</u>	<u>Prov/år</u>
1975	220	82	-	4
1976	40	4	2,9	4
1977	419	30	11,1	4
1978	271	86	10,8	4
1979	244	44	5,7	4
1980	207	53	7,3	4
1981	267	77	6,9	4
1982	160	37	9,2	4
1983	84	8	4,7	4
1984	120	15	-	4
1985	312	51	-	0
1986	292	87	-	6
1987	157	15	4,9	6
1988	267	80	7,6	6
1989	72	14	2,4	6

Både kväve- och fosfortransporterna har beräknats med veckomedelvattenföringar från Hovetorps kraftverk och uppmätta koncentrationer.

Koncentrationerna av totalkväve varierar inte så mycket. Det är framförallt nitratkoncentrationerna som varierar, och nitratet utgör ingen stor del av totalkvävet. För 1985 ansattes värdena som uppmättes vid sista provtagningen 1984, eftersom de var varken mycket högre eller mycket lägre jämfört med de övriga mätningarna vid Li 1/Li 20.

Li 5 Stångån, uppströms reningsverket i Linköping

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-P</u>	<u>Prov/år</u>
1975	-	4
1976	2,4	4
1977	20,8	4
1978	20,2	4
1979	11,2	4
1980	10,5	4
1981	7,7	4
1982	10,9	4
1983	6,5	4
1984	7,2	4
1985	19,1	11
1986	13,7	12
1987	10,1	12
1988	11,1	12
1989	6,6	12

Modellerad vattenföring. För vattenföringen vid intransportpunkten till det lokala området, se Li 1/Li 20.

Li 6 Stångån, utflödet till Roxen

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>	<u>Tot-P</u>	<u>Prov/år</u>
1975	418	229	-	4
1976	66	31	5,9	4
1977	651	199	25,2	4
1978	471	224	29,0	4
1979	407	164	25,4	4
1980	344	147	20,8	12
1981	429	194	19,1	12
1982	314	143	36,4	12
1983	206	100	16,2	12
1984	217	92	15,8	12
1985	493	186	-	0
1986	455	202	-	0
1987	230	65	-	0
1988	413	183	-	0
1989	162	68	-	0

Modellerade kvävetransporter, exklusive Linköpings avloppsreningsverk. Fosfortransporterna inkluderar däremot effekterna av utsläppen för reningsverket. För intransporterna till det lokala området, se Li 1/Li 20.

-- Sviestadsån, utflödet till Roxen

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>
1975	106	80
1976	34	24
1977	160	118
1978	148	103
1979	110	81
1980	94	67
1981	108	79
1982	94	68
1983	80	58
1984	79	56
1985	133	98
1986	90	65
1987	45	30
1988	106	77
1989	51	35

Modellerade transporter.

-- Kumlaån, utflödet till Roxen

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>
1975	42	29
1976	25	16
1977	85	59
1978	79	50
1979	54	37
1980	45	30
1981	54	36
1982	51	35
1983	43	29
1984	44	29
1985	65	43
1986	40	27
1987	26	17
1988	53	36
1989	28	18

Modellerade transporter.

-- Delområdena invid södra Roxen (SR)

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>
1975	130	112
1976	44	38
1977	187	158
1978	166	139
1979	128	110
1980	124	107
1981	121	103
1982	108	90
1983	102	87
1984	96	82
1985	164	141
1986	104	89
1987	56	47
1988	126	108
1989	60	50

Modellerade transporter.

-- Delområdet invid norra Roxen (NR)

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>
1975	35	16
1976	14	6
1977	62	28
1978	49	20
1979	38	16
1980	40	16
1981	38	17
1982	44	20
1983	41	18
1984	36	15
1985	51	22
1986	35	16
1987	23	9
1988	47	20
1989	22	9

Modellerade transporter.

Li 11 (a) Motala Ström, Roxens utlopp

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>
1975	2766	1751
1976	727	362
1977	2955	1634
1978	3327	1845
1979	2973	1350
1980	2274	1185
1981	3185	1764
1982	2515	1366
1983	1999	1174
1984	1755	939
1985	3387	1855
1986	3011	1641
1987	1812	874
1988	3021	1651
1989	1666	873

Modellerade transporter. För intransporterna till Motala Ströms, Svartåns och Stångåns lokala områden, se Mo 4, Mö 3 respektive Li 1/Li 20.

Li 11 (b) Motala Ström, Roxens utlopp

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>	<u>Tot-P</u>	<u>Prov/år</u>
1975	2671	1087	144,1	4
1976	538	174	32,2	10
1977	2372	1088	104,1	12
1978	3160	1272	149,6	12
1979	2643	631	103,7	12
1980	2172	819	91,4	12
1981	3121	1324	86,5	12
1982	2379	624	131,3	12
1983	2040	794	103,6	12
1984	1544	577	69,8	12
1985	3268	1711	142,7	12
1986	3786	1848	129,9	12
1987	1612	424	80,2	12
1988	3571	1842	110,6	12
1989	1205	568	51,4	12

Både kväve- och fosfortransporterna har beräknats med uppmätta koncentrationer och vattenföringar.

Fi 4

Hällestadsån, utflödet från delområde F3

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>	<u>Tot-P</u>	<u>Prov/år</u>
1975	224	92	-	4
1976	118	42	5,1	4
1977	381	150	14,2	4
1978	314	120	10,2	4
1979	219	74	7,1	4
1980	245	80	7,5	4
1981	306	116	6,8	4
1982	330	131	8,1	4
1983	280	106	7,5	4
1984	243	82	-	4
1985	291	105	-	0
1986	239	93	-	6
1987	142	45	6,6	6
1988	286	108	8,6	6
1989	166	58	5,8	6

Modellerade kvävetransporter.

--

Emmaån, utflödet från delområde F4 (Storsjöns utlopp)

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>
1975	40	12
1976	16	3
1977	66	17
1978	62	16
1979	43	9
1980	41	8
1981	53	14
1982	52	14
1983	50	12
1984	43	9
1985	52	12
1986	49	24
1987	26	4
1988	56	14
1989	28	6

Modellerade transporter.

Fi 7

Finspångsåån, utflödet till Glan (Doverns utlopp)

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>	<u>Tot-P</u>	<u>Prov/år</u>
1975	332	130	-	4
1976	157	50	7,4	4
1977	411	202	19,4	4
1978	476	172	14,5	4
1979	323	100	12,9	4
1980	341	102	13,4	4
1981	442	158	10,3	4
1982	454	170	14,2	12
1983	405	144	12,8	12
1984	347	109	12,7	12
1985	420	141	15,1	12
1986	366	134	12,5	12
1987	207	58	9,1	12
1988	429	152	11,4	12
1989	236	76	6,6	12

Modellerade kvävetransporter, exklusive Finspångs avloppsreningsverk.

--

Ysundaån, utflödet ur delområde Y4 (Averns utlopp)

Ämnesstransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>
1975	44	14
1976	14	3
1977	76	22
1978	61	18
1979	48	11
1980	39	8
1981	54	14
1982	56	17
1983	51	14
1984	41	10
1985	48	13
1986	52	15
1987	29	5
1988	56	15
1989	28	6

Modellerade transporter.

Fi 9 Ysundaån, utflödet till Glan

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>	<u>Tot-P</u>	<u>Prov/år</u>
1975	83	29	-	4
1976	30	8	1,7	4
1977	146	48	4,8	4
1978	118	37	3,8	4
1979	92	26	3,0	4
1980	79	21	1,3	4
1981	100	30	2,0	4
1982	108	36	2,6	4
1983	98	30	2,6	4
1984	81	23	2,2	4
1985	97	29	3,6	11
1986	98	32	3,5	12
1987	58	13	2,0	12
1988	113	34	2,6	12
1989	54	15	1,3	12

Modellerade kvävetransporter.

-- Delområden runt Glan (G)

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>
1975	71	34
1976	28	11
1977	128	61
1978	110	49
1979	80	36
1980	75	31
1981	90	40
1982	89	42
1983	80	36
1984	71	30
1985	94	40
1986	84	33
1987	43	16
1988	97	42
1989	45	18

Modellerade transporter, exklusive punktkällorna Skärblacka bruk och Skärblacka avloppsreningsverk.

GB 6 (a) Motala Ström, Glans utlopp

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>
1975	2945	1016
1976	819	171
1977	2760	836
1978	3798	1348
1979	3148	606
1980	2404	589
1981	3850	1421
1982	3196	811
1983	2597	727
1984	2182	632
1985	3941	1772
1986	4364	1858
1987	2076	423
1988	4249	1878
1989	1710	654

Modellerade transporter. Intransporterna från Roxen till Glan har beräknats med uppmätta koncentrationer och vattenföringar, se Li 11 (b).

GB 6 (b) Motala Ström, Glans utlopp

Ämnestransport (ton/år)

<u>År</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO3-N</u>	<u>Tot-P</u>	<u>Prov/år</u>
1975	3228	1492	94,8	12
1976	558	188	21,8	12
1977	5093	2751	135,1	12
1978	4069	1776	110,7	11
1979	2788	1040	90,7	12
1980	2312	730	112,3	12
1981	4055	1661	169,2	12
1982	2912	1200	109,8	12
1983	2275	855	73,8	11
1984	1667	550	68,2	12
1985	4374	1987	109,2	12
1986	4098	1741	131,0	12
1987	1579	331	85,5	12
1988	4096	1926	144,0	12
1989	1691	624	71,1	12

Både kväve- och fosfortransporterna har beräknats med uppmätta koncentrationer (PMK) och vattenföringar.

APPENDIX B

Delområdenas indelning i modellens fem markanvändningsklasser presenteras i tabellen nedan. För varje delområde anges markanvändningen dels i km², dels i % av delområdets totala area.

Sjöarealerna som anges i tabellen avser den sjö som ligger närmast utloppet från avrinningsområdet. Det är denna sjöareal som användes vid modelleringen, eftersom den visat sig ha en betydligt större inverkan på både avrinningsförlopp och närsaltkoncentrationer än den totala sjöarealen i området.

Område	Medelhöjd (m. ö. h.)	Area (km ²)	Skog (km ²) (%)	Säd (km ²) (%)	Vall (km ²) (%)	Öppen mark (km ²) (%)	Sjö (km ²) (%)
MS	90	40,7	12 29,4	18,2 44,8	2,8 6,9	6,1 15	1,6 3,9
Sv	104	693	304,1 43,9	248,6 35,8	47 6,8	89,8 13	3,5 0,5
St	95	332	151,1 45,5	92,5 27,9	14,6 4,4	57,4 17,3	16,4 4,9
Svi	60	214,7	80,1 37,3	56,6 26,4	10,7 5	64,7 30,1	2,6 1,2
K	65	115,2	46,1 40	35,6 30,9	7,3 6,3	26,1 22,7	0,1 0,1
NR	75	146,1	105,4 72,2	8,1 5,5	9,4 6,4	22,9 15,7	0,3 0,2
SR	48	145,6	32,6 22,4	69,1 47,5	12,7 8,7	31,1 21,3	0,1 0,1

Forts. på nästa sida.

Forts.

Område	Medelhöjd (m. ö. h.)	Area (km ²)	Skog (km ²) (%)	Säd (km ²) (%)	Vall (km ²) (%)	Öppen mark (km ²) (%)	Sjö (km ²) (%)
F	100	1295	907,3 70,1	59,8 4,6	69,6 5,4	243,8 18,8	14,5 1,1
F1	59	110	57,6 52,3	9,6 8,7	11,2 10,2	28 25,5	3,6 3,3
F2	94	169	126,9 75,1	4,8 2,9	5,6 3,3	31,4 18,5	0,3 0,2
F3	99	822	563,7 68,6	40,3 4,9	46,8 5,7	168,1 20,4	3,1 0,4
F4	136	194	159,1 82	5,1 2,6	6 3,1	16,3 8,4	7,5 3,9
Y	89	416	302,7 72,8	14,7 3,5	17,2 4,1	72,8 17,5	8,6 2,1
Y1	63	116	81,9 70,6	5,7 4,9	6,7 5,7	21,3 18,4	0,4 0,4
Y2	62	37,2	26,5 71,1	0,4 1,2	0,5 1,4	8,4 22,6	1,4 3,7
Y3	80	42	34,3 82	0,8 1,8	0,9 2,1	5,9 14	0,1 0,1
Y4	109	221	160,1 72,5	7,8 3,5	9,1 4,1	37,2 16,8	6,8 3,1
G	53	330,9	194,6 58,8	29,1 8,8	33,9 10,3	70,6 21,3	2,7 0,8

Nr Titel

HYDROLOGISKA RAPPORTER

- 1 Hydrokemiska data från de svenska fältforskningsområdena
av Bengt Carlsson
Norrköping 1985
- 2 Utvärdering av 1985 års vårflödesprognoser
av Martin Häggström och Magnus Persson
Norrköping 1986
- 3 Riktlinjer och praxis vid dimensionering av utskov och dammar i USA. Rapport från en studieresa i oktober 1985
av Sten Bergström, Ulf Ehlin, SMHI, och Per-Eric Ohlsson, VASO
Norrköping 1986
- 4 Skåneprojektet - Hydrologisk och Oceanografisk information för vattenplanering - ett pilotprojekt
av Barbro Johansson, Erland Bergstrand och Torbjörn Jutman
Norrköping 1986
- 5 Översiktlig sammanställning av den geografiska fördelningen av skador främst på dammar i samband med septemberflödet 1985
av Martin Häggström
Norrköping 1986
- 6 Vattenföringsberäkningar i Södermanlands län - ett försöksprojekt
av Barbro Johansson
Norrköping 1986
- 7 Areella snöstudier
av Maja Brandt
Norrköping 1986
- 8 PULS-modellen: Struktur och tillämpningar
av Bengt Carlsson, Sten Bergström, Maja Brandt och Göran Lindström
Norrköping 1987
- 9 Numerisk beräkning av vågor i kraftverksdammar
av Lennart Funkquist
Norrköping 1987
- 10 Application of the HBV-Model to Bolivian Basins
av Barbro Johansson, Magnus Persson, Enrique Aranibar och Roberto Llobet
Norrköping 1987
- 11 Monthly streamflow simulation in Bolivian Basins with a stochastic model
av Cecilia Ambjörn, Enrique Aranibar och Roberto Llobet
Norrköping 1987
- 12 De svenska huvudvattendragens namn och mynningspunkter
av Kurt Ehler, Torbjörn Lindkvist och Todor Milanov
Norrköping 1987
- 13 Analys av avrinningsserier för uppskattning av effektivt regn
av Göran Lindström
Norrköping 1987
- 14 Modellberäkning av extrem effektiv nederbörd
av Maja Brandt, Sten Bergström, Marie Gardelin och Göran Lindström
Norrköping 1987
- 15 Sjökarte- och sjöuppgifter. Register 1987
av Håkan Danielsson och Torbjörn Lindkvist
Norrköping 1987
- 16 Utvärdering av 1986 års vårflödesprognoser
av Martin Häggström och Magnus Persson
Norrköping 1987
- 17 Skogsskador - klimat
av Bertil Eriksson, Barbro Johansson, Katarina Losjö och Håldo Vedin
Norrköping 1987
- 18 Bestämning av optimalt klimatstationsnät för hydrologiska prognoser
av Maja Brandt
Norrköping 1987
- 19 Utvärdering av 1987 års vårflödesprognoser
av Martin Häggström och Magnus Persson
Norrköping 1988
- 20 Frys förluster av vatten
av Todor Milanov
Norrköping 1988
- 21 Application of the HBV model to the upper Rio Cauca basin
av Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval och Maria Elvira Vega
Norrköping 1988
- 22 Snökartläggning med satellitdata i Kultsjöns avrinningsområde
av Mats Moberg och Maja Brandt
Norrköping 1988
- 23 Hydrologiskt stationsnät
Svenskt Vattenarkiv
av Martin Gotthardsson och Sten Lindell
Norrköping 1989
- 24 Aplicacion del modelo HBV a la cuenca superior del Rio Cauca
av Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval, Maria Elvira Vega
Norrköping 1989
- 25 Svåra islossningar i Torneälven. Förslag till skadeförebyggande åtgärder
av Gun Zachrisson
Norrköping 1989
- 26 Anpassning av HBV-modellen till Torneälven
av Martin Häggström
Norrköping 1989
- 27 Application of the HBV model to six Centralamerican rivers
av Martin Häggström och Göran Lindström
Norrköping 1990
- 28 Parametervärden för HBV-modellen i Sverige
Erfarenheter från modellkalibreringar under perioden 1975 - 1989
av Sten Bergström
Norrköping 1990
- 29 Spridningsstudier i Glan
av Urban Svensson och Ingemar Holmström
Norrköping 1990
- 30 Analys av avrinningsens trender i Sverige
av Torbjörn Jutman
Norrköping 1991
- 31 Aplicacion del modelo HBV a la cuenca del Rio Cauto en Cuba
av Mercedes Rodriguez, Barbro Johansson, Göran Lindström, Eduardo Planos och Alfredo Remont
Norrköping 1991
- 32 Simulering av vårflöden med HBV-modellen
av Erik Arner
Norrköping 1991
- 33 Snösmätning med georadar och snötaxeringar i övre Luleälven
av Maja Brandt
Norrköping 1991
- 34 Markläckage och vattendragstransport av kväve och fosfor i Roxen/Glan-systemet, Östergötland
av Bent Göransson, Maja Brandt och Hans Bertil Wittgren
Norrköping 1991



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 Norrköping. Tel 011-15 80 00. Telex 64400 smhi s.