

# **En GIS-databas med simuleringsmoduler som ett verktyg för bättre användning och förvaltning av mark- och vattenresurser. Slutredovisning av projekt 0433039.**

*AgrD Abraham Joel & AgrD Ingrid Wesström*

*SLU, Institution för mark och miljö, Avdelningen för hydroteknik, Box 7014, 750 07 Uppsala*

## **BAKGRUND**

I arbetet med miljömålet ”ingen övergödning” och införandet av EUs vattendirektiv, genomförs ett antal åtgärdsprogram för att minska näringsflöden från åkermark till vattenrecipienter. En viktig aspekt i arbetet är att kunna sätta in åtgärder där de gör som mest nytta, samt att kunna bedöma hur och i vilken grad åtgärdsprogram har bidragit till att minska belastningen till vattenrecipienter. Idag är detta svårt att genomföra på ett effektivt och korrekt sätt på grund av begränsningar i modellberäkningar och tillgång på relevant data.

I de flesta studier och rapporter som behandlar övergödning i Sverige betraktas näringsläckage från jordbruksmark eller åkermark som diffusa utsläpp. Anledning till detta är att näringsflödet till enskilda vattendrag, sjöar eller hav, påverkas av flera faktorer. De viktigaste faktorerna är markanvändning, markegenskaper och klimat. Samspelet mellan dessa faktorer påverkar belastningen i både tid och rum. Nuvarande metoder som finns för dokumentering av olika komponenter i odlingslandskapet och beräkningssätt på hur de samverkar har många begränsningar. Det är därför svårt att bedöma när och vilka källor det är som bidrar till utsläppen. Följaktligen, finns det ett stort behov av rumsligt fördelade modelleringsmetoder för bedömning av den samlade effekten av markanvändning inom avrinningsområden. Detta kan åstadkommas genom integrering av hydrologiska modeller med geografiska informationssystem (GIS).

Den primära målsättningen med projektet var att utveckla ett arbetsverktyg som kan integrera information om mark- och vattenresursanvändning och som har förmåga att lagra och analysera både tids- och rumsberoende data; går att använda på olika skalor (fält, gård, och avrinningsområdet); och kan hantera data rörande olika aspekter (klimat, jordar, odlingsystem, ekonomi, förordningar, mm). De specifika målsättningarna har varit att utveckla ett system för strukturering av information om mark- och vattenresurser i en databas och att ta fram lämpliga metoder för att bygga nätverk och länka de olika elementen i odlingslandskapet (t.ex. från fält till dike och vattendrag).

## **MATERIAL OCH METODER**

Ett avrinningsområde är ofta heterogent och består av områden med olika struktur och funktioner som förändras med tiden. Projektet har därför haft som syfte att utveckla ett analysverktyg som kan ta hänsyn till både den rumsliga och tidsmässiga variationen som finns inom avrinningsområden. Analysverktyget innehåller följande komponenter: en GIS plattform som kan lagra, bearbeta och presentera data (ArcGIS Info 9.1); en modell som kan sammanlänka och associera de olika elementen i landskapet (ArcHydro) och en modell för hydrologi- och transportsimulering (DRAINMOD).

## Studieområde

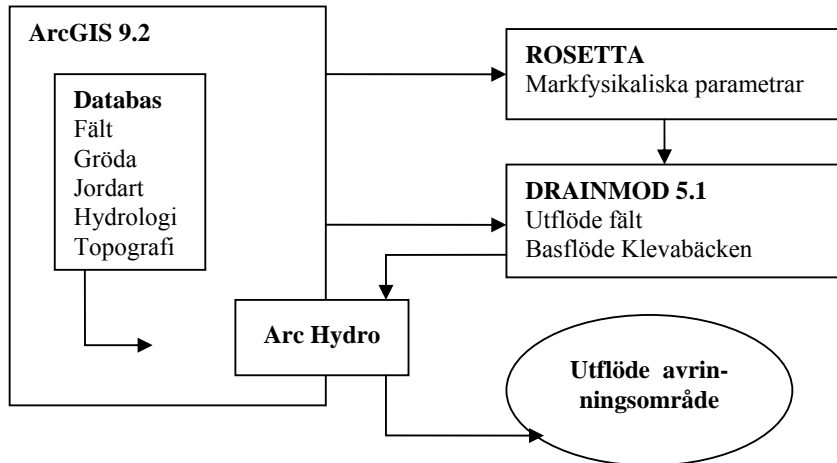
Klevabäckens avrinningsområde ligger på Öland i Mörbylånga kommun (56°31'N, 16°23'Ö). Området har lätta jordar, hög djurtäthet och intensiv växtodling. Avrinningsområdet består av 734 ha dränerad åkermark som är indelat i 95 fält med en areal av 0,2 till 32 ha med plan topografi (< 1 % lutning). Högre lutningar (> 10 %) finns på sluttningar vid östra gränsen av avrinningsområdet vilket ger en nivåskillnad på 50 m inom området. Årsmedelnederbörden är 475 mm och årsmedeltemperaturen är 7,4 °C enligt 30-årsmedelvärden (1961-90) från SMHI väderstation i Mörbylånga. Nederbörden är högst under sommaren (maj till augusti) och hösten (september till november) med cirka 35 respektive 30 % av årsnederbörden. Den dominerande jordarten i området är sandiga jordar med hög genomsläpplighet och låg vattenhållande förmåga. Nära utloppet finns ett område med organogena jordar. Information om odlade grödor under åren 2003 till 2007 för varje enskilt fält fanns tillgänglig genom Jordbruksverkets statistiska databas.

I området bedrivs konventionell växtodling. I växtföljden ingick höstvet, sockerbeter, vall, korn, ärter, potatis och bönor. De största kvävekällorna var gödslingsmedel, fixering av kväve från atmosfären och genom nederbörd. Tillförseln av kvävegödsel skedde genom konstgödsel och flytgödsel. Givor på mellan 0 till 150 kg ha<sup>-1</sup> har uppskattas från inrapporterad statistisk data från Kalmar län. Svinflytgödsel, 1 ton ha<sup>-1</sup> (60 kg N ha<sup>-1</sup>), tillfördes på våren till vall och sockerbeter.

Avrinningsområdet är dränerat av Klevabäcken och ett nätverk av öppna diken. Vid en mätstation nära utloppet mättes avrinningen kontinuerligt en gång per timme med tryckgivare. Vattenprover togs ut varannan vecka för analys av nitrat- och nitritkväve (NO<sub>3</sub>-N+NO<sub>2</sub>-N) enligt svensk standard (Tec. ASN 110-01/92). Dagliga värden på N-koncentrationer beräknades genom linjär interpolation enligt en metod av Kronvang och Bruhn (1996). Kvävetransporten beräknades genom att daglig koncentration multiplicerades med daglig avrinning.

## ArcHydro-DRAINMOD modellering

I denna studie har DRAINMOD integrerats med ArcHydro. Programvaran ArcGIS Info 9.1 (ESRI, 2004) valdes som den gemensamma plattform för att lagra databaser och bearbeta data som behövdes för indata i de andra modellerna. ArcHydro (Maidment, 2002) har använts för att beskriva dräneringsvägarna inom avrinningsområden och för att koppla de simulerade utflödena från enskilda fält. Vatten- och ämnesflöden från varje fält har simulerats med DRAINMOD-NII (Youssef, 2003). Markfysikaliska parametrar som behövdes som indata till DRAINMOD har tagits fram med hjälp av pedotransfer-funktioner av modellen ROSETTA (Schaap et al., 2001). En principskiss för hur de olika beståndsdelarna är kopplade till varandra i ArcHydro-DRAINMOD modellen presenteras i figur 1.



Figur 1. Principskiss av ingående modeller i Arc Hydro-DRAINMOD (Salazar et al., 2009b).

ArcHydro-modulen ”terrängbearbetning” användes för att avgränsa avrinningsområdet. Grunddata bestod av höjddatabaser från Lantmäteriet. Databaserna innehöll höjdvärden med 1 dm upplösning i varje skärningspunkt av ett tänkt 50 x 50 m rutnät. Med hjälp av en digital höjdm modell (DEM) har avgränsning av Klevabäckens avrinningsområde gjorts och nätverket av ytvattensvägar definierats. Vidare har ArcHydro använts för att binda ihop diken med Klevabäckens huvudvattenfåra och för att tillsätta en avvattningsspunkt för varje fält. I ArcHydro kan man tilldela en unik identitet, en så kallad HydroID, till varje fysiskt element i ett avrinningsområde (t.ex. dike, fält). Med hjälp av HydroID är det möjligt att knyta ihop angränsande element och därmed spåra vatten- och ämnesrörelser inom avrinningsområden.

Det totala utflödet från avrinningsområdet beräknades som en kombination av daglig avrinning från varje fält och dagligt basflöde i Klevabäcken. DRAINMOD användes både för att simulera vattenbalanser för varje fält med utgångspunkt från de individuella egenskaperna och för att simulera basflödet i Klevabäcken. Dagliga beräknade utflöden från dräneringssystem och beräknad ytavrinning lagrades i tidsserier. I ArcHydro summerades sedan bidraget från varje fält till det hydrologiska nätverket. Simulerad avrinning har jämförts med dagligt uppmätt flöde i utloppet av avrinningsområdet.

DRAINMOD-NII användes för att simulera effekterna av mark- och vattenanvändning på kvävebelastningen i avrinningsområden. I DRAINMOD-NII ingår moduler för beräkning av olika processer i kvävetets kretslopp så som våtdeposition, mineralisering, immobilisering, växtupptag, fixering, nitrifikation, denitrifikation, utlakning mm.

För att uppskatta retentionen av utlakat kväve inom avrinningsområdet gjordes två antagande. Det första antagandet var att storleken på nettoförlusterna av NO<sub>3</sub>-N är beroende av hur lång transporttiden var från fältgräns till utlopp. Det andra antagandet var att förluster av kväve från strömfåran orsakades endast av denitrifikation. Baserat på laborieförsök fann Dawson och Murphy (1972) att denitrifikationshastigheten i avloppsvatten var positivt relaterad till temperaturen. De fann att temperaturberoendet hos denitrifikationshastigheten kan uppskattas med hjälp av Arrhenius ekvation:

$$k_{den} = k_0 \exp(-E/RT) \quad (\text{Ekvation 1})$$

där  $k_{den}$  är en denitrifikationshastighetskonstant,  $k_0$  är en frekvensfaktor,  $E$  är aktiveringsenergi ( $\text{cal g}^{-1} \text{mol}^{-1}$ ),  $R$  är den universella gaskonstanten ( $\text{cal g}^{-1} \text{mol}^{-1} \text{°K}^{-1}$ ) och  $T$  är absolut temperatur ( $\text{°K}$ ). Appelboom et al. (2006) visade att resultaten från Dawson och Murphy (1972) undersökning kunde anpassas till en empirisk exponentialekvation för beräkningarna av en daglig denitrifikationshastighetskonstant;

$$k_{den} = k_{c1} \exp(k_{c2}Tt) \quad (\text{Ekvation 2})$$

där  $k_{c1}$  är sönderfallskoefficient 1,  $k_{c2}$  sönderfallskoefficient 2 ( $\text{°C}^{-1} \text{day}^{-1}$ ),  $T$  är den dagliga luftmedeltemperaturen ( $\text{°C}$ ) och  $t$  är transporttiden (dagar).

Vid beräkning av den totala nitrattutlakningen från avrinningsområdet simulerades  $\text{NO}_3\text{-N}$  förluster från varje enskilt fält med indata anpassade till varje fält. Dagliga data summerades och lagrades i tidsserier. Precis som med vattenflödet användes ArcHydro för att summera bidraget från varje fält till det hydrologiska nätverket.  $\text{NO}_3\text{-N}$  förluster genom basflöde beräknades för sig genom simulering av läckage till grundvattnet och tillflöde till Klevabäcken.  $\text{NO}_3\text{-N}$  belastningen vid utloppet av avrinningsområdet uppskattades vara en kombination av dagliga simulerade värden på  $\text{NO}_3\text{-N}$  utlakning från varje fält och dagliga simulerade värden på  $\text{NO}_3\text{-N}$  utlakning genom basflöde. De slutliga förlusterna av nitratkväve från avrinningsområdet reducerades enligt tidigare beskrivna ekvation 2;

$$\text{load}_{\text{passed}}(t) = \text{load}_{\text{received}}(t) k_{den} \quad (\text{Ekvation 3})$$

där  $\text{load}_{\text{passed}}$  är  $\text{NO}_3\text{-N}$  belastningen nedströms ( $\text{kg dygn}^{-1}$ ),  $\text{load}_{\text{received}}$   $\text{NO}_3\text{-N}$  belastningen uppströms ( $\text{kg dygn}^{-1}$ ),  $k_{den}$  är denitrifikationshastighetskonstanten (Ekv. 2) och  $t$  är transporttiden (dygn).

Simulerad  $\text{NO}_3\text{-N}$  utlakning har jämförts med daglig uppmätt  $\text{NO}_3\text{-N}$  utlakning i utloppet från avrinningsområdet.

Modellberäkningar med ArcHydro-DRAINMOD utfördes för sex perioder: oktober 2003 - juni 2004 (period 1), juli 2004 - juni 2005 (period 2), juli 2005 - september 2005 (period 3), januari 2006 - juni 2006 (period 4), januari 2007 - juni 2007 (period 5) och juli 2007 - mars 2008 (period 6). De första tre perioderna användes för kalibreringen av modellen medan de sista tre perioderna användes för validering. I denna studie har dagliga värden integrerats till månadsvärden för att underlätta statistiska analyser och utvärdering av modellens prestanda.

### **Indata till DRAINMOD**

Indata till DRAINMOD inkluderar markfysikaliska och markkemiska parametrar, klimatdata, snödjup och snösmältning, information om dräneringssystem, odlingsåtgärder och växtföljd samt grödparametrar. Jordarnas hydrauliska egenskaper uppskattades med ROSETTA modellen som använder USDA texturklasser som indata. I en studie av Salazar et al.(2008) visade sandjordar i södra Sverige en bra överensstämmelse mellan observerade och DRAINMOD simulerade dräneringsflöden när ROSETTA användes för uppskattning av jordens hydrauliska egenskaper. För att skatta de hydrauliska egenskaperna hos de organogena jordar, som ingick i detta projekt, användes en metodik efter Wösten et al. (1999) för europeiska jordar.

Klimatdata var uppmätta vid SMHIs väderstation i Kalmar och omfattade lufttemperatur, nederbörd, luftfuktighet, vindhastighet, molnighet och snödjup. Potentiell evapotranspiration beräknades enligt FAO Penman-Monteith ekvation. Parametrar för marktemperatur och snösmältning är hämtade från tidigare kalibrering av DRAINMOD i södra Sverige (Wesström, 2002; Salazar et al., 2008).

Uppgifter om dräneringssystem kommer ifrån fält-, enkät- och topografiska undersökningar utförda i Klevabäckens avrinningsområde.

Växtföljd för varje fält erhöles från Jordbruksverkets databas för EU stöd. Data beskrev de odlingsinriktningar som förekom och deras omfattning i varje block. Block valdes som den minsta enhet som representeras i ArcHydro. Anledning var att blocken inte ändras mycket med avseende på form och storlek mellan åren. Det är därför lätt att underhålla deras aktualitet. Oftast odlades samma gröda inom enskilda block. Indata för höstvet, korn, sockerbeter och potatis till simulering med DRAINMOD har bestämts i tidigare anpassningar av DRAINMOD till förhållanden i södra Sverige (Wesström, 2002; Salazar et al., 2008). Indata för rajgräs, ärter och bönor är hämtade från olika litteraturkällor. Indata för ärter och bönor antogs vara samma.

### **Enkätstudier**

Syftet med enkäterna var att samla in information från lantbrukarna som komplement till kartor och information i databaser som fanns för området. Enkäten bestod av 11 frågor och var upplagd så att fråga 1 till 4 behandlade jordtyp, fråga 5 till 7 aktuell dräneringssituation, fråga 8 täta skikt i markprofilen och fråga 9 grundvattenstånd. Förutom enkäten skickades också kartor över lantbrukarnas fält ut. På kartorna fick de i uppgift att fylla i vilka fält som var dränerade och vilka fält utöver dessa som var dåligt dränerade. Detta för att få en uppfattning om hur stor areal som hade dräneringsbehov.

### **Fältundersökningar**

Syftet med fältundersökningen var att verifiera digitala kartor i fält. Genom fältvandring undersöktes på ett översiktligt sätt jordarternas förekomst, markanvändning och avgränsning på avrinningsområdet. Fältundersökningarna användes också till att skaffa kompletterande information om avvattningsinfrastruktur och dräneringsstatus på fälten. Utöver fältvandringar genomfördes ett antal intervjuer med lantbrukarna.

### **Statistiska analyser**

Generalised Likelihood Uncertainty Estimation (GLUE) metoden användes för att uppskatta osäkerheten i modellberäkningarna av avrinning och NO<sub>3</sub>-N utlakning (Beven och Binley, 1992). Metoden känner igen likvärdighet eller nära likvärdighet hos olika parameteruppsättningar vid kalibrering av distribuerade modeller. GLUE metoden bygger på att man gör ett stort antal körningar med en modell med olika uppsättningar av parametervärden som väljs ut slumpmässigt inom ett givet intervall med hjälp av Monte Carlo simuleringar. Metoden gör det möjligt att upptäcka effekter av olinjäritet hos modellen, kovariation av parametervärden och fel i modellstruktur hos indata eller uppmätta data som simulerade värden jämförs med (Beven och Freer, 2001).

Modellerings effektiviteten (E) valdes som mått på sannolikheten. I detta projekt användes E för att jämföra simulerad och uppmätt månatligt avrinning respektive NO<sub>3</sub>-N utlakning enligt följande;

$$E = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O')^2} \quad (\text{Ekvation 4})$$

där  $O_i$  är uppmätt värde vid tiden  $i$ ,  $S_i$  är simulerat värde vid tiden  $i$ ,  $O'$  är medelvärdet av uppmätta värden och  $n$  är antalet parvisa uppmätta-simulerade värden. Värdet som  $E$  kan anta sträcker sig från minus oändligheten till 1,0, där  $E$  lika med 1,0 representerar en perfekt uppskattning och lägre värden tyder på en sämre överensstämmelse mellan modell och observationer (Nash och Sutcliffe, 1970). Om  $E$  är lika med noll tyder det på att  $O'$  är en lika bra prediktor som modellen medan negativa värden på  $E$  tyder på att uppmätt medelvärde är en bättre prediktor än modellen. I detta projekt klassificerades parameteruppsättningar som gav  $E \geq 0,3$  som bra återgivning av systembeteende och användbara vid simulering. Parameteruppsättningar som gav  $E$  värden  $< 0,3$  klassificerades som icke beteendemässiga och gavs sannolikheten noll.

Tre parametrar kalibrerades enligt GLUE metoden; lateral mättad konduktivitet (sex upprepningar enligt de sex olika texturklasserna som återfanns i avrinningsområdet), avståndet mellan Klevabäcken och gränserna för avrinningsområdet (dräneringsavstånd) och sönderfallskoefficienterna ( $k_{c1}$  och  $k_{c2}$ ) som användes i ekvation 2 (Salazar et al., 2009c). Resultaten från GLUE undersökningen användes för att göra en känslighetsanalys för de tre testade parametrarna.

## RESULTAT OCH DISKUSSION

För att uppfylla målsättningarna med projektet har en databas för strukturering av information om mark- och vattenresurser byggts upp med Klevabäckens avrinningsområde som pilotområde. Lämpliga metoder för att bygga nätverk och länka samman de olika elementen i odlingslandskapet (t.ex. från fält till dike och från dike till vattendrag) har också tagits fram. Med relevant information från databasen har simuleringar av NO<sub>3</sub>-N utlakning utförts på fältnivå. Nätverk har gjort det möjligt att länka samman utlakning från enskilda fält till sammanlagd utlakning från avrinningsområdet. Med detta angreppssätt har det gått att simulera rumsliga och tidsmässiga variationer i effekterna av markanvändning på avrinning och NO<sub>3</sub>-N belastningen i ett avrinningsområde. Resultaten för år 2003 till 2007 redovisas nedan.

### Mark- och vattenresursdatabas

Arbetet med uppbyggnad av databasen var tidskrävande på grund av att informationen kom från olika källor och inte var lätt tillgänglig. Grunddata för uppbyggnad av databasen var höjddatabasen, jordartskartor, dikningsföretag samt blockkartor med tillhörande grödkoder.

Första steget i arbetet var att definiera avrinningsområden med tillhörande huvudvattenvägar i GIS med hjälp av höjddatabasen. ArcHydro användes sedan för att beskriva avrinningsområdets hydrologi och geografi. Genom en detaljerade topografisk analys av området har flödesriktningar, sänkor, vattendragens sträckning och biflöden samt avrinningsområdets avgränsningar bestämts. Resultaten visar att de digitala höjddata, som

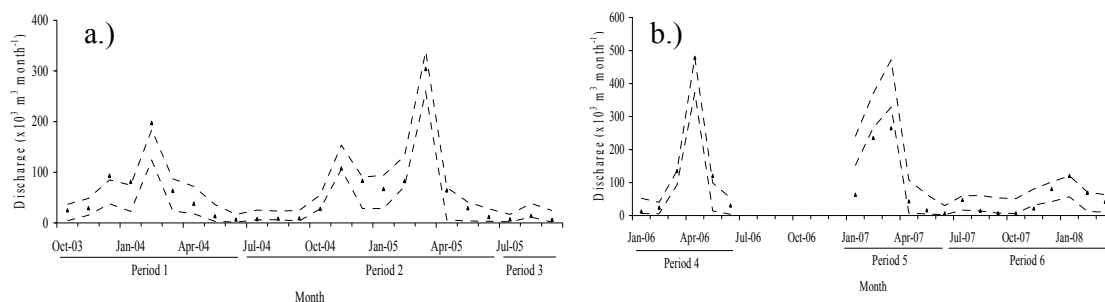
användes i studien, med en pixelstorlek av 50 x 50 m inte var tillräcklig för att kunna definiera avrinningsområde och vattenvägar i flacka landskap. Övriga digitala data som markanvändnings- och jordartskartor visade en bra överensstämmelse med verkliga förhållanden, vilket leder till slutsatsen att höjddatabasens låga upplösning är den huvudsakliga begränsande faktorn för uppbyggnad av en geodatabas. Genom en översiktlig fältundersökning kunde de felaktiga gränserna korrigeras på ett relativt enkelt sätt. Inom kort kommer Lantmäteriet att uppdatera höjddatabasen på nationell nivå med mer detaljerad information därmed kommer detta inte att bli en begränsande faktor.

Jordartsdatabasen i skalan 1:50 000 har gett ett tillräckligt underlag över de olika förekommande jordartstyperna i området. Informationen har använts för att definiera jordarterna och därmed markfysikaliska parametrar som användes som indata i DRAINMOD.

Uppgifter om dikningsföretag kunde fås från länsstyrelsen i Kalmar län. Insamling av data som beskrev dräneringstillstånd eller dräneringsbehov av åkermark blev tillgänglig genom de registrerade dikningsföretagen. Dikningsföretag som är digitaliserade beskriver inte i detalj täckdikningssystem eller de enskilda fälten som är dränerade. Dock ger de en mycket bra indikation på vilka områden som har dräneringsbehov och som dräneras idag. Informationen måste kompletteras genom enkätstudier och fältundersökningar.

## Modellering av avrinning och NO<sub>3</sub>-N utlakning

Under ett hydrologiskt år kunde uppmätt avrinning delas in två perioder, en period med högt flöde under vinter och vår med 35 respektive 40 % av årsavrinningen samt en period med lågt flöde under sommar och höst. Variationer under året och storleken på uppmätt flöde överensstämde i stort med uppskattade värden och i de flesta fall var topp- och låga flöden inom gränserna för sannolikhetsintervallet (5 %, 50 % och 95 %) bestämt genom GLUE metoden (Figur 2). Statistiska jämförelser mellan uppmätt och simulerad månatlig avrinning visade på en mycket bra överensstämmelse, med E värden på mellan 0,67 och 0,84.



Figur 2. Uppskattad osäkerhet av resultat från a.) kalibreringsperioden (Period 1 till 3) och b.) valideringsperioden (Period 4 till 6). Trianglar är månatligt observerat utflöde vid utloppet och streckade linjer är 5 % och 95 % sannolikhet för simulerade värden (Salazar et al., 2009b).

GLUE uppskattade värden (50 % percentil) användes för att beräkna hur de olika jordarterna bidrog till avrinningen från enskilda fält och till avrinning genom basflöde. Sandiga mojordar var den största källan till avrinning (31 %), följt av sandjordar (25 %) och mjåliga mojordar (16 %). Den totala avrinningen från fält med lättare jordar (sand, moig sand och sandig mo), cirka 70 %, var direkt proportionell mot andelen lätta jordar i avrinningsområdet (75 %).

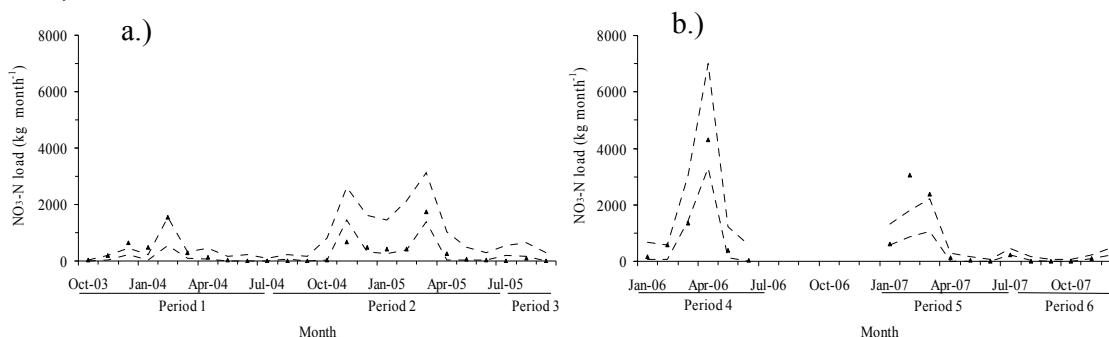
Avrinning från enskilda fält utgjorde den största källan till utflöde från avrinningsområdet, 58 %. Avrinningen genom basflöde bidrog med 42 % till det totala utflödet.

Genom simuleringar på fältnivå kunde också effekter av enskilda grödor på vattenbalansen uppskattas. I tabell 1 redovisas infiltration (*F*), evapotranspiration (*ET*) och avrinning (*D*) från fält med sandig mo med olika grödor under period 2. I detta exempel visar *ET* ett negativt samspel med *D*, där *ET* ökar med ökat rotdjup.

Tabell 1. Simulering av infiltration (*F*), evapotranspiration (*ET*) och avrinning (*D*) från fält med sandig mo under juli - mars, period 2

Gröda	<i>F</i>	<i>ET</i>	<i>D</i>
	cm		
Vall	47	30	4
Träda	47	26	11
Ärter	47	24	10
Potatis	47	30	4
Korn	47	24	10
Sockerbetor	47	30	4
Höstvete	47	25	9

Variationer under året och storleken på uppmätt  $\text{NO}_3\text{-N}$  utlakning överensstämde i stort med uppskattade värden under försöksperioden och låg i de flesta fall inom gränserna för sannolikhetsintervallet (5 %, 50 % och 95 %) bestämt genom GLUE metoden (Figur 3). Liksom för avrinningen uppmättes den högsta  $\text{NO}_3\text{-N}$  utlakning under vinter och våren då 42 % respektive 47 % av årsmedelutlakningen skedde. Storleken på  $\text{NO}_3\text{-N}$  utlakningen var starkt kopplad till storleken på avrinningen, då även de högst  $\text{NO}_3\text{-N}$  koncentrationerna uppmättes under vinter- och vårsäsong. Statistiska jämförelser mellan uppmätt och simulerad månatlig utlakning visade på en mycket bra överensstämmelse, med E värden på mellan 0,37 och 0,76.



Figur 3. Uppskattad osäkerhet av resultat från a.) kalibreringsperioden (Period 1 till 3) och b.) valideringsperioden (Period 4 till 6). Trianglar är månatligt observerat utlakning vid utloppet och streckade linjer är 5 % och 95 % sannolikhet för simulerade värden (Salazar et al., 2009c).

Simulerad bortförsel av  $\text{NO}_3\text{-N}$  från Klevabäcken med GLUE uppskattade värden (50 % percentil) var 25 % medan 75 % av utlakat  $\text{NO}_3\text{-N}$  återfanns vid avrinningsområdets utlopp.

GLUE uppskattade värden (50 % percentil) användes för att beräkna hur de olika jordarterna bidrog till utlakning av  $\text{NO}_3\text{-N}$  från enskilda fält och till utlakning av  $\text{NO}_3\text{-N}$  genom basflöde. Sandiga jordar var den största källan till utlakning från enskilda fält (36 %), följt av sandiga



mojordar (31 %). Den totala utlakningen från fält med lättare jordar (sand, moig sand och sandig mo), cirka 73 %, var direkt proportionell med andelen lätta jordar i avrinningsområdet (75 %). Trots att fält med organogen jord bara utgjorde 9 % av den totala arealen kom 26 % av den totala NO<sub>3</sub>-N utlakningen från dessa fält. Fält med mjällig mojord däremot återfanns på 16 % av den totala areal men stod bara för 2 % av total utlakning. Avrinning från enskilda fält utgjorde den största källan till NO<sub>3</sub>-N utlakningen från avrinningsområdet, 92 %, medan utlakningen genom basflöde endast bidrog med 8 %.

Med Arc Hydro-DRAINMOD simuleringarna uppskattades också effekterna av olika växtföljder och odlingsåtgärder på kvävebalansen för olika fält. I tabell 2 redovisas uppskattade värden på sammanlagd tillförsel och bortförsel av kväve från fält med olika växtföljder på sandjord under perioderna 1 till 6 (år 2003-2007).

Tabell 2. En jämförelse av total N-tillförsel och N-bortförsel från fält med sandjord och med olika växtföljder under perioderna 1 – 6 (år 2003 - 2007)

Fält	Växtföljd <sup>a</sup>	Tillförsel				Bortförsel			
		Netto N- min.	gödsel	N- fix.	Våt depos.	Plant upptag	Denitri- fikation	Volati- sering	Utlak- ning
		kg N ha <sup>-1</sup>				kg N ha <sup>-1</sup>			
12	HV-K-S-K-HV	77	615	0	23	337	237	12	43
21	K-P-Ä-HV-Ä	198	360	315	23	432	128	19	3
24	V-V-V-V-V	223	400	0	23	264	141	13	17
25	GT-GT-GT-GT-GT	78	0	0	23	72	28	0	3

<sup>a</sup> V: vall; GT: grön träda; Ä: ärter; P: potatis; K: korn; S: sockerbetor; HV: höstvet

I exemplet ovan hade fält 24 den högsta uppskattade netto N-mineraliseringen. Fält 24 hade den största tillförseln av organiskt material (svinflyt) med en hög C/N kvot. Fält 12 hade den största tillförsel av kvävegödsel och även den största bortförseln av kväve genom utlakning och denitrifikation. Den uppskattade kvävefixeringen från ärter på fält 21 var i medeltal 158 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Denna mängd fixerat kväve hamnar inom ramarna för N-fixering av ärter i tidigare rapporter med värden på 34 till 200 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Simulerad våtdeposition av NO<sub>3</sub>-N och NH<sub>4</sub>-N stämde överens med observerade värden på i medeltal 5,6 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> uppmätta av IVL under år 2003 till 2007 på Öland. Den största N bortförseln från fälten skedde via plantupptag. Volatiliseringsprocessen gynnas av ett generellt högt pH (7,5) i marken. De högsta förlusterna via volatilisering skedde i samband med flytgödselspridning.

Projektet visar att Arc Hydro-DRAINMOD kan användas för att simulera olika scenarier som kan förekomma i ett avrinningsområde som domineras av åkermark. Det är möjligt att uppskatta hur ändringar i odlingsåtgärder så som t ex ändrade tidpunkter för gödning, bevattning och jordbearbetning eller reglerbar dränering kanske kan vara de mest effektiva och billigaste sättet att minska N transporten från land till hav.

Ett rumsfördelat tillvägagångssätt som använder fältskala för att lagra data visade sig vara en effektiv metod för uppskalning av DRAINMOD-N II från fält till avrinningsområdesnivå. Detta var möjligt genom att den jordbrukstatistiska databasen till vilken lantbrukarna rapporterar in skörde- och gödslingsnivåer använder fältnivån som enhet. Detta rumsligt fördelade tillvägagångssättet kan därför bli ett mer realistiskt sätt att få med den rumsliga variationen inom ett avrinningsområde än de metoder som är baserade på rutnät som används idag.

Färre data fanns tillgänglig för både N transport genom basflöde och N retention i dräneringssystem och naturliga vattenvägar. Dessa parametrar var också de mest känsliga i känslighetsanalysen. För att kunna öka noggrannheten i uppskattningar av NO<sub>3</sub>-N utlakning är det nödvändigt att mäta dessa parametrar i fält. Trots okända felkällor är det viktigt att känna till att GLUE metoden som används i detta analysverktyg gör det möjligt att upptäcka effekter av olinjäritet hos modellen, kovariation av parametervärden och fel i modellstruktur hos indata eller uppmätta data som simulerade värden jämförs med.

## PUBLISERING OCH ÖVRIG RESULTATFÖRMEDLING

En doktorand har arbetat inom projektet. Han kommer att försvara sin avhandling ”Modelling water discharge and nitrogen loads from drained agricultural land at field to watershed scales” den 4 juni, 2009. Projektet har också lett till två examensarbeten. Arbetet kommer att publiceras i fyra vetenskapliga artiklar, vid fyra konferenser samt i två rapporter enligt följande;

- Salazar, O., Wesström, I. & Joel, A., 2008a. Evaluation of DRAINMOD using saturated hydraulic conductivity estimated by a pedotransfer function model. *Agricultural Water Management* 95:10, 1135-1143.
- Salazar, O., Wesström, I., Youssef, M., Skaggs, W. & Joel, A., 2009a. Evaluation of the DRAINMOD-N II model for predicting nitrogen losses in a loamy sand under cultivation in south-east Sweden. *Agricultural Water Management* 96:2, 267-281.
- Salazar, O., Joel, A., Wesström, I., Linnér, H. & Skaggs, R.W., 2009b. Modelling discharge from a coastal watershed in south-east Sweden using an integrated framework. Inskickat till *Hydrological Processes*.
- Salazar, O., Joel, A., Wesström, I. & Youssef, M.A., 2009c. Application of an integrated framework for predicting nitrate loads from a coastal watershed in south-east Sweden. Manuskript.
- Joel A., Salazar O., Wesström I. 2006. A framework for management of spatial and temporal data: Land use effects on catchment hydrology and nutrient loads. NJF-seminar No. 373, Transport and retention of pollutants from different production systems, 11-14 June 2006, Tartu, Estonia. NJF Rapport Vol 2, vol 5
- Salazar, O., Wesström, I. & Joel, A. 2007. Evaluation of the DRAINMOD-N model under cold conditions. 23rd Congress Nordic Association of Agricultural Scientists (NJF). Copenhagen, Denmark, 26-29 June. NJF Report, Vol 3, Nr 2: 159-160.
- Salazar, O., Wesström, I. & Joel, A. 2007. Estimating soil hydraulic properties for upscaling field-scale hydrological models. PEDOFRACT2007, International Workshop on Scales Dependences in Soil and Hydrologic Systems. El Barco de Avila, Spain, 3-6 July. 1 p.
- Salazar, O., Wesström, I., Youssef, M. A., Skaggs, R.W. & Joel, A., 2008b. Evaluation of the DRAINMOD-N II model for predicting nitrogen losses in Southeast Sweden. 10th International Drainage Workshop of ICID Working Group on Drainage. Helsinki/Tallinn, Finland/Estonia, 6-11 July. Helsinki University of Technology Water Resources Publications 16, 394-395.
- Lherbette, M. 2007. Tutorial to create a simplified network for an integrated modelisation of nutrients flow in a Swedish basin., SLU. 28 pp
- Lujan, B. 2006. ArcGIS geodatabase to model hydrogeography in Klevabäckens catchment, in Öland. MSc thesis, SLU, Uppsala. 31 pp.

## Referenser

- Appelboom, T.W., Chescheir, G.M., Skaggs, R.W., Gilliam, J.W. & Amatya, D., 2006. Temperature coefficient for modeling denitrification in surface water sediments using the mass transfer coefficient. In: *Proceedings of the International Conference on Hydrology and Management of Forested Wetlands*, New Bern, NC, pp. 199-207.
- Beven, K. & Binley, A., 1992. The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction. *Hydrological Processes* 6 (3), 279-298.
- Beven, K. & Freer, J., 2001. Equifinality, data assimilation, and uncertainty estimation in mechanistic modeling of complex environmental systems using the GLUE methodology. *Journal of Hydrology* 249 (1-4), 11-29.
- Dawson, R.N. & Murphy, K.L., 1972. The temperature dependency of biological denitrification. *Water Research* 6 (1), 71-83.
- ESRI, 2004. ArcGIS 9, What is ArcGIS? Environmental System Research Institute (ESRI), Redlands, CA.
- Hornberger, G.M. & Spear, R.C., 1981. An approach to the preliminary analysis of environmental systems. *Journal of Environmental Management* 12 (1), 7-18.
- Kronvang, B. & Bruhn, A.J., 1996. Choice of sampling strategy and estimation method for calculating nitrogen and phosphorus transport in small lowland streams. *Hydrological Processes* 10 (11), 1483-1501.
- Maidment, D.R., 2002. Arc Hydro: GIS for water resources. Redlands, CA, ESRI Press.
- Schaap, M.G., Leij, F.J., van Genuchten, M.T., 2001. ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Journal of Hydrology* 251 (3-4), 163-176.
- Wösten, J.H.M., Lilly, A., Nemes, A. & Le Bas, C. 1999. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma* 90(3-4): 169-185.
- Youssef, M.A., 2003. Modeling nitrogen transport and transformations in high water table soils. Ph.D. diss. North Carolina State University, Raleigh, NC.