

# Simulering av tiltakscenarier gjennom anvendelse av tre forskjellige modeller. Vil valg av modell påvirke hvilke tiltak som foreslås?

Av Tor Haakon Bakken, Mária Szomolányi, Attila Lázár, Torulv Tjomsland, Stig A. Borgvang og John Rune Selvik

Tor Haakon Bakken (tor.bakken@niva.no), Torulv Tjomsland og John Rune Selvik er alle knyttet til Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Gaustadalleen 21, 0349 Oslo

Mária Szomolányi og Attila Lázár er knyttet til VITUKI CONSULT Rt, H-1095 Budapest, Kvassay Jenó út 1, Ungarn

Stig A. Borgvang er knyttet til BIOFORSK, Saghellingsa, Fr. A. Dahlsvei 20, 1432 Ås

## Sammendrag

Denne artikkelen oppsummerer erfaringene fra en modellstudie utført i Kapos nedbørfelt (Ungarn), hvor tre ulike modeller som alle kan anvendes til å beregne årlige transportverdier av total fosfor (TotP) ble tilpasset og resultatene sammenlignet. Modellene som ble anvendt var TEOTIL, INCA-P og SWAT, listet fra den enkleste til den mest komplekse. Modellene ble tilpasset (kalibrert) basert på de samme dataene og det ble simulert forenklede tiltakscenarier, som for eksempel endring i gjødslingsnivå, endret arealbruk, reduserte utslipp fra punktkilder og effekten på årlige TotP-transportverdier. Resultatene fra disse simuleringene viste at model-

lene peker i ulik retning med hensyn på hvilke tiltak som har størst forureningsreducerende effekt. Basert på TEOTIL-simuleringene ville man anta at det ville være fornuftigst å sette inn tiltak på landbruksarealene, mens INCA-P og SWAT peker i retning av tiltak mot utslipp fra punktkildene.

Ved å gå dypere inn i modellenes konsept og struktur, forutsetningene/forenklingene gjort ved oppsettet av modellene og bakgrunnen for beregning av observerte årlige transportverdier kan de sprikende simuleringresultatene til en stor grad forklares. Valg av riktig modell, eller kombinasjon av modeller, kombinert med en trenet og godt kommuniserende

modellør vil kunne gi forvaltningen gode og velfunderte råd ved utvikling av tiltaksplaner. På tross av sprikende modellresultater, metodiske problemer og manglende evne til å simulere bestemte typer tiltak så mener vi derfor at valg av riktig modell, eller kombinasjon av modeller, kombinert med en trenet og kommuniserende modellør vil kunne gi forvaltningen gode og velfunderte råd ved utvikling av tiltaksplaner.

## **Utvikling av tiltaksplaner og modellering**

Innføringen av EUs rammedirektiv på vann (2000/60/EC) har medført og medfører store endringer i vannforvaltningen i store deler av Europa. Direktivet er ambisiøst og krever at alle naturlige vannforekomster skal ha god økologisk status innen 2015. I eutrofierte vassdrag er viktige oppgaver bl.a. å fastsette hvor store mengder næringsalter som slippes ut fra punktkilder og tapes fra diffus avrenning, samt hvordan stoffene transporteres og omsettes gjennom vassdraget. I vannforekomster som ikke møter kravet om god økologisk status, krever rammedirektivet at det utarbeides tiltaksplaner for hvordan god økologisk status kan oppnås. Dette innebærer at ett sett med ulike forurensningsreducerende tiltak må analyseres. For å gjennomføre disse oppgavene finnes det både enkle beregningsmetoder, for eksempel gitt gjennom SFTs veileder for tilførselsberegninger (SFT, 1995), men også langt mer krevende og raffinerte metoder som de numeriske beregningsmodellene representerer. Innen-

for sistnevnte kategori finnes det igjen en rekke modeller som spenner fra enkle beregningsmodeller som summerer opp tilgjengelige utslipps-/avrenningsdata og til de krevende og avanserte modellene hvor et stort antall prosessligninger, som beskriver transport og omsetning av næringsstoff i nedbørfelt, løses. Se for eksempel EUROHARP Toolbox (2007) <http://www.euroharp.org/toolbox> for en oversikt over modeller testet i EUROHARP-prosjektet (2007) og andre relevante modeller innen samme fagområde.

Denne artikkelen beskriver modelleringen som ble gjennomført i AQUAPOL-prosjektet (2007) i Kapos nedbørfelt i Ungarn, et prosjekt finansiert av Norges forskningsråd og utført som et samarbeid mellom NIVA og VITUKI CONSULT Rt i Ungarn (se <http://www.aquapol.no/>). I det prosjektet ble tre forskjellige beregningsmodeller anvendt i samme nedbørfelt. Modellene ble tilpasset (kalibrert) ved hjelp av de samme historiske dataene, med enkelte avvik primært grunnet modellenes forskjellige krav til omfang og detaljgrad av inngangsdata. Deretter ble et definert sett med forurensningsreducerende tiltak simulert, i den grad modellene var teknisk i stand til å representere de definerte tiltak.

Det gjøres oppmerksom på at en utvidet versjon av denne artikkelen er sendt for mulig publisering i Journal of River Basin Management ([www.jrbm.net](http://www.jrbm.net)). En full beskrivelse av hele modellstudiet finnes i Bakken et al., 2006.

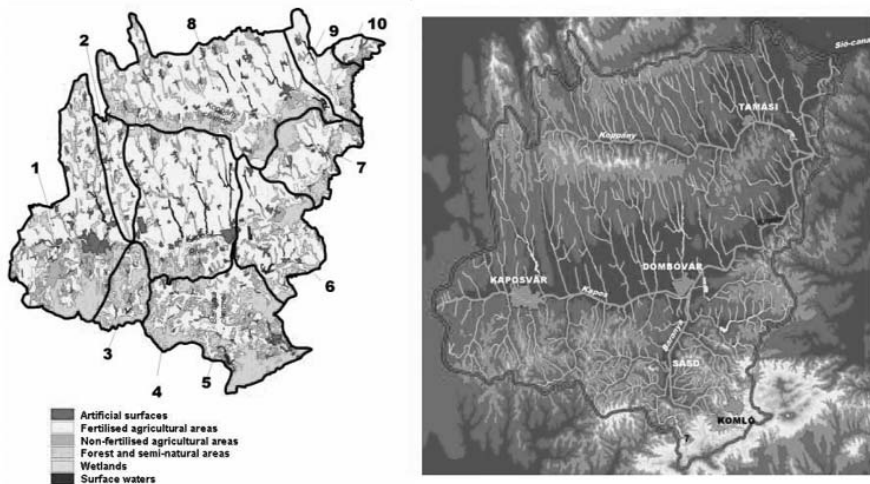




Figur 2. Kapos nedbørfelt med de største byene lokalisert, de administrative regionene (fylkene) er markert med forskjellige bakgrunnsfarger (figuren er originalt i farger som vi ikke får gjengitt her).

Nedbørfeltareal	3170 km <sup>2</sup>
Høydefordeling	100 – 660 m over havet
Årlig nedbør	680 - 700 mm, hvorav 380-400 mm i vekstsesongen
Spesifikk avrenning	4 l/s*km <sup>2</sup> (= 126 mm/km <sup>2</sup> ), dvs. om lag 18 % av årlig nedbør
Arealbruk	Dyrket mark (61,9 %), gress (4,1 %), skog (24,2 %), overflatevann (0,8 %), restareal (tettsted, fjell, etc.) (9,0 %)
Største byer/tettsteder og befolkning (2004), kilde: Statistisk årbok, Ungarn	Kaposvár (68 077), Komló (27 164), Dombóvár (20 655), Tamási (9 626) og Sásd (3512)

Tabell 1. Grunnlagsdata Kapos nedbørfelt



Figur 3. Figuren til venstre viser fordelingen av de forskjellige arealbrukskategorier i Kapos nedbørfelt, mens figuren til høyre indikerer høydefordelingen i feltet, varierende fra 100 til 660 moh. Tallene og inndelingen til venstre er relatert til INCA-P modelleringen (originalfigur i farger)

## Beskrivelse av modellene

De 3 modellene som er anvendt i denne studien varierer fra en veldig enkel modell (TEOTIL), til en semi-kompleks modell (INCA-P, versjon 1.4.6) til en av de mest komplekse modellene som er utviklet for simulering av avrenning av næringsstoffer fra nedbørfelt (SWAT), se EUROHARP Toolbox (2007). Kompleksiteten gjenspeiles i prosesser som er representert, behovet for inngangsdata og ressursene som kreves til kalibrering av modellen, men også i fleksibiliteten mhp. å simulere bestemte tiltakscenarier.

### TEOTIL

TEOTIL ble opprinnelig utviklet på NIVA etter oppdrag fra SFT for å kvantifisere tap av næringsstoff fra landområder til kyst/hav i forbindelse

med Nordsjøplanen, basert på tilgjengelige regionale statistiske data (Tjomsland and Bratli, 1996). Nåværende versjon av TEOTIL må betraktes som et modellbygger verktøy ettersom brukeren velger beregningsrutiner blant et bibliotek av ferdigutviklede rutiner (Selvik et al., 2005). TEOTIL benytter som regel årlige statistiske data på utslipp fra punktkilder (renseanlegg og industrier), informasjon om tilknytningsgrad til kommunalt avløpsnett, koeffisienter for arealavrenning og observert vannføring/nedbør.

Avrenningskoeffisientene kan hentes fra nasjonal statistikk eller bli kalibrert mot observerte (beregnete) transportverdier, hvorav sistnevnte strategi ble benyttet i Kapos nedbørfelt. Ingen prosesser i nedbørfeltet er beskrevet av modellen, mens det

foreligger forenklaede beskrivelser av retensjonen i vassdragssystemet (elver og innsjøer).

Modellen med alle ferdigutviklede rutiner og beregningsmetoder er nå fullstendig bygd inn i ESRI ArcGIS (ESRI, ArcGIS), og pre-prosessering av data og presentasjon av resultater kan derfor på en veldig elegant og sofistikert måte utføres innen denne programpakken. Beregningsresultatene kan bli presentert enten pr delnedbørfelt eller pr administrative enhet (for eksempel kommune, fylke). Modellen beregner oftest transportverdier og/eller gjennomsnittskonsentrasjoner på årlig basis. Modellen kan, til en viss begrenset grad, simulere effekten av tiltak.

### INCA-P

INCA-P står for "Integrated Catchment model for Phosphorus" (Wade et al., 2002) og er en prosessbasert modell som simulerer fosfordynamikken både i plante-/jordsmonnssystemet og i vannforekomstene. Modellen simulerer den romlige variasjonen ved hjelp av en semi-distribuert representasjon av nedbørfeltet, kan beskrive opptil 6 forskjellige arealkategorier, og kan simulere flere typer tiltak i landbruket og endringer i punktutlipp, og den påfølgende effekten på fosforkonsentrasjoner og transportverdier i vassdraget.

Den hydrologiske delen av INCA-P inkluderer en representasjon av direkte avrenning fra overflaten, avrenning fra markvannsonen og fra grunnvannsmagasinet. Dessuten beskriver modellen de prosesser i

jordsmonnet som inkluderer fosfor. Videre beregner ("router") modellen transporten av vann og fosfor gjennom vassdragssystemet. I Kapos ble versjon 1.4.6 av INCA-P anvendt. Denne versjonen beregner konsentrasjoner og transportverdier av løst reaktivt fosfor og TotP, men inkluderer ikke partikulert fosfor i TotP-verdiene. Nyere versjoner av INCA-P, som for tiden er til testing på NIVA, inkluderer også partikulært fosfor. De viktigste inngangsdataene til INCA-P er hydrologisk effektiv nedbør, lufttemperatur, tidsserier av punktutslipp og mengde og tidsperiode for gjødsling (organisk og uorganisk).

INCA-P krever mer omfattende inngangsdata enn TEOTIL, krever vanligvis mer tid til kalibrering, men gir til gjengjeld mer innsikt i de prosesser som bestemmer avrenning, retensjon og transportverdier i nedbørfeltet. INCA-P støtter generelt også simulering av flere typer tiltak enn hva TEOTIL gjør. INCA-P produserer resultater ved utløpet av hvert av de definerte delnedbørfeltene (se figur 3, venstre del) og simulerer fosforkonsentrasjoner og transportverdier med døgnoopløsning.

### SWAT

SWAT er en svært avansert og kompleks nedbørfeltbasert modell utviklet ved Blackland Research & Extension Center (USA) and Grassland, Soil and Water Research Laboratory (USA) (Neitsch et al., 2002). Modellen er utviklet for å simulere langtidseffekten av forskjellige typer arealbruk og arealforvaltning på vann- og sedimentkvalitet.

SWAT er en prosessbasert modell, noe som innebærer at fysiske, kjemiske og biologiske prosesser som involverer transport og omsetning av vann og næringsstoffer er direkte uttrykt gjennom ligninger. SWAT er dynamisk og arealdistribuert, se også <http://www.brc.tamus.edu/swat>.

Kravene til inngangsdata til modellen er svært omfattende og inkluderer klimadata, topografisk beskrivelse av nedbørfelt, jordsmonnsdata, vegetasjonsdata og informasjon om arealbruk og arealforvaltning. Et stort antall parametre relatert til representasjonen av fysiske, kjemiske og biologiske prosesser må fastsettes, noe som dels blir gjort gjennom søk i litteratur, basert på inngående kjennskap til modellen og fri kalibrering.

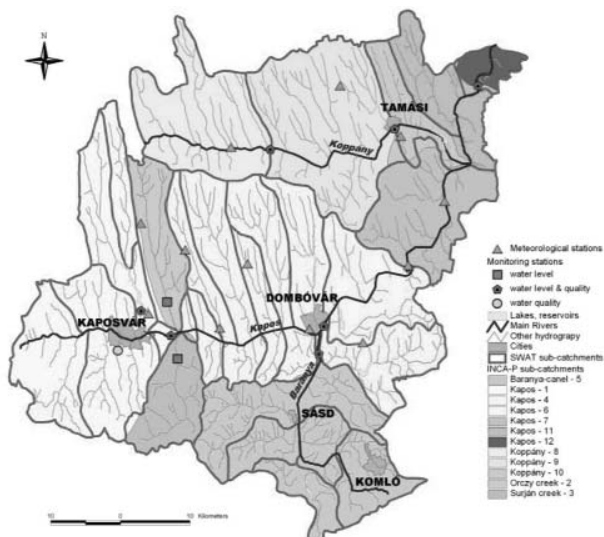
SWAT støtter simulering av en rekke tiltakstrategier, deriblant arealbruksendringer, endring i veksttyper, mengde og tidsperiode for gjødsling. Modellen produserer resultater med

døgn-, måneds- eller årsopløsning. Modellen beregner transport og omsetning av flere fraksjoner av fosfor, nitrogen og pesticider i nedbørfeltet. Fra landfasen blir vann og stoff transportert gjennom vassdragsystemet ved hjelp av transportligninger. Resultater blir beregnet ved utløpet av alle definerte delnedbørfelt samt overvåkningslokaliteter (se figur 4). I studiet i Kapos nedbørfelt ble versjon SWAT2000 anvendt innenfor et ArcView-grensesnitt (ESRI, ArcView).

## Tilpasning av modellene

### Inngangsdata

Inngangsdataene til modellene ble hentet fra flere forskjellige lokale, regionale og nasjonale kilder. Lokaliseringen av målestasjoner for meteorologi, vannmengde og vannkemi er vist i figur 4. For detaljer omkring interpolering av inngangsdata, bruk av data fra de forskjellige målestasjoner, fordeling av statistiske data pr modellert delnedbørfelt, definisjon av gjødslingsperioder, fordeling av total gjødselmengde på henholdsvis organisk og uorganisk fraksjon, så henvises det til Bakken et al. (2006).



Figur 4. Figuren viser Kapos nedbørfelt og lokalisering av målestasjoner. Inndelingen i delnedbørfelt vist i figuren ble anvendt av SWAT

### Kalibreringsprosedyre og -resultater

For å kunne sammenligne modelleringsresultatene fra de forskjellige modellene var det essensielt å tilstrebe en så lik kalibreringsprosedyre som mulig. Ettersom modellene krever ulikt omfang av inngangsdata og fordi modelleringsarbeidet ble gjort av forskjellige modellører lokalisert både i Norge og Ungarn, var det allikevel enkelte ulikheter i tilnærming til arbeidet. De viktigste forskjellene som påvirket kalibreringene og sammenligningen var:

- SWAT krever mer omfattende inngangsdata enn INCA-P, som igjen krever mer omfattende inngangsdata enn TEOTIL.
- Det er anvendt noe forskjellig kalibreringsperiode for de ulike modellene.
- Det er anvendt noe forskjellig metode for å beregne observerte årlige transportverdier brukt i tilpasning av de forskjellige modellene. Det er anvendt ordinær lineær tidsinterpolasjon av vannkjemidataene for TEOTIL og INCA-P, mens separate regresjonsanalyser på stigende og synkende vannføring, samt lav-

vannperioder, for SWAT. Sistnevnte metode gir til dels betydelig lavere årlige transportverdier enn førstnevnte metode.

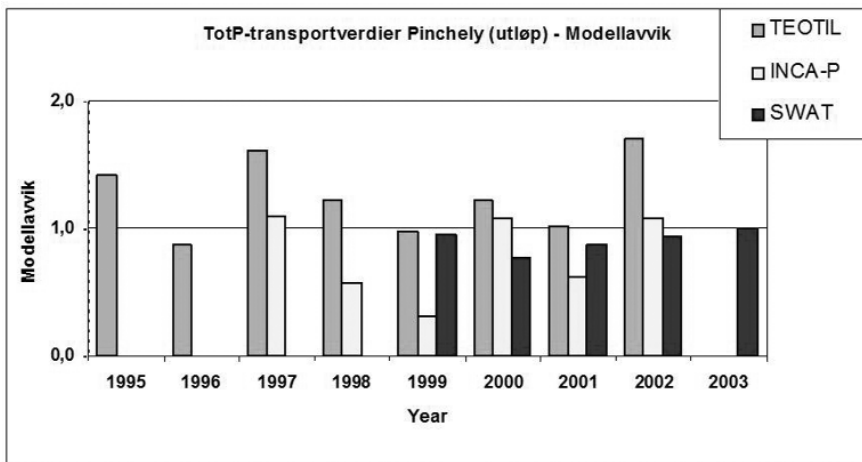
Modellene ble sammenlignet utfra følgende forutsetninger:

- Utløpet av Kapos nedbørfelt (Pincehely) ble valgt som hovedlokalitet for kalibrering og eneste lokalitet hvor sammenligning av kalibreringen er vist i denne artikkelen.
- TotP ble valgt som sammenligningsvariabel da den er sentral i eutrofieringsstudier i ferskvann og alle modellene produserte denne som output.
- Modellene ble sammenlignet ved hjelp av ”modellavvik”, definert som simulerte årlige transportverdier dividert på observerte årlige transportverdier. Dette gir en verdi mellom 0 og  $\infty$ , hvor en verdi lik 1 representerer at modellen beregner eksakt den samme verdi som årlige observerte verdier. Modellavvik  $< 1$  innebærer at modellen underestimerer årlige transportverdier i forhold til observasjonene, mens verdier  $> 1$  innebærer at modellen overestimerer årlige verdier.

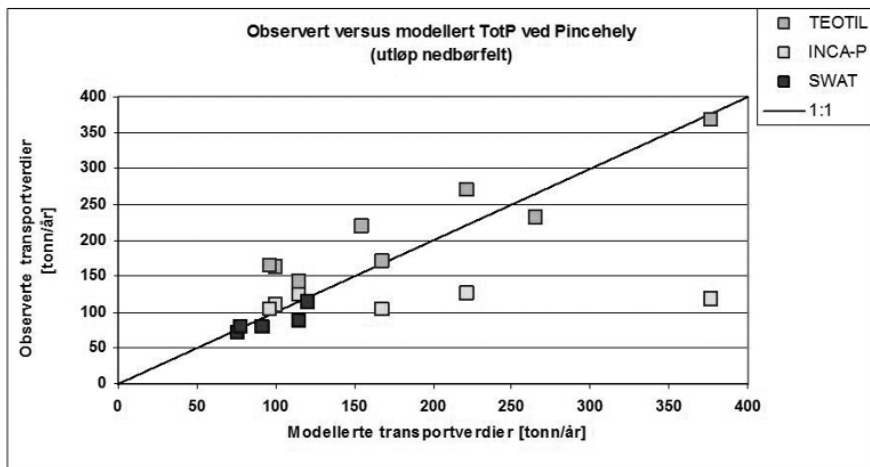
År/Modell	TEOTIL	INCA-P	SWAT
1995	1,41	I.R.	I.R.
1996	0,87	I.R.	I.R.
1997	1,62	1,09	I.R.
1998	1,22	0,57	I.R.
1999	0,98	0,31	0,94
2000	1,23	1,07	0,76
2001	1,02	0,62	0,87
2002	1,70	1,08	0,93
2003	I.R.	I.R.	1,00

Tabell 2. Modellavvik basert på årlige TotP-transportverdier ved utløpet av Kapos nedbørfelt (Pincehely). I.R. = ikke relevant, indikerer at modellen ikke var kalibrert for dette året





Figur 5. Modellavvik basert på årlige TotP-transportverdier ved utløpet av Kapos nedbørfelt (Pincehely). Modellavvik < 1 representerer en underestimering i forhold til observasjonene, mens verdier > 1 innebærer at modellen overestimerer årlige verdier i forhold til observasjonene.



Figur 6. Modellerte og observerte årlige TotP-transportverdier [tonn/år] ved utløpet av Kapos nedbørfelt (Pincehely). Modellerte og observerte verdier fra samme modell og år er plottet sammen og verdier som ligger på 1:1-linja representerer at modellerte og observerte verdier er like. Verdier under 1:1-linja representerer en overestimering, mens verdier over 1:1-linja viser at modellen underestimerer årlige transportverdier.

Modellkalibreringene i seg selv er meget interessante da de sier mye om modellenes evne til å gjenskape observerte historiske data, under hvilke forhold de synes å fungere best og hvilke forhold modellene åpenbart har problemer med å gjenskape. Det henvises igjen til Bakken et al. (2006) for detaljer omkring dette. Ut fra arbeidet med tilpasning av modellene, vurdering av inngangsdata og kalibreringsresultater er det verdt å kommentere følgende:

- Det ble benyttet en Monte Carlo-metode (Nash og Sutcliffe, 1970) for å kalibrere TEOTILs avrenningskoeffisientene for arealavrenningen. Modellresultatene overestimerer til en viss grad årlige TotP-transportverdier de fleste år, bortsett fra de 2 årene (1996, 1999) med høye observerte transportverdier. I 2002, som er året med lavest observerte verdier, overestimerer TEOTIL transportverdiene med om lag 70 %.
- INCA-P underestimerer transportverdiene kraftig de årene med høye observerte verdier, men gir gode resultater de andre årene. Dette kan antageligvis forklares utfra svakheter i den hydrologiske rutinen og det faktum at beregning av partikulært fosfor ikke er inkludert i den testede versjon. Det skal også tillegges at simulering av løst, reaktivt P (ikke vist i denne artikkelen) viser god sammenheng med observasjonene.
- SWAT underestimerer svakt TotP-transportverdier alle år, bortsett fra det siste året i kalibreringsperioden. Underestimeringen er tydeligst de

årene med de høyest observerte verdiene, bortsett fra det kalibreringsåret med aller høyest verdi. Det bør nevnes at SWAT også beregner nitrogenomsetning og -transport i nedbørfeltet, og at disse generelt treffer observasjonene bedre enn fosforfraksjonene.

- Det er anvendt forskjellige metoder for å aggregere/interpolere dataene opptil årlige transportverdier.
- Det kan også være feil i de observasjonene (overvåkingsdataene) som er benyttet til kalibrering.
- Det er antageligvis feil eller upresisjoner i dataene for utslipp fra punkt-kildene og i gjødslingsdataene. Disse dataene er til en viss grad forsøkt korrigert vha. ekspertvurderinger.

## Simulering av scenarier og vurdering av resultatene

I løpet at prosjektet ble det definert et sett med tiltakscenarier som deretter ble simulert av hver av modellene, i den grad de rent teknisk var i stand til å representere de definerte tiltakene. Scenariene var til en stor grad basert på scenarier formulert av Vagstad og French (2005) i EUROHARP-prosjektet (EUROHARP, 2007). Scenariene som ble simulert var:

- A 20 % økning i gjødsling med uorganisk P
- B 20 % reduksjon i gjødsling med uorganisk P
- C 20 % økning i antall husdyr, tolket som 20 % økning i organisk P-gjødsling
- D 20 % reduksjon i antall husdyr, tolket som 20 % økning i organisk P-gjødsling

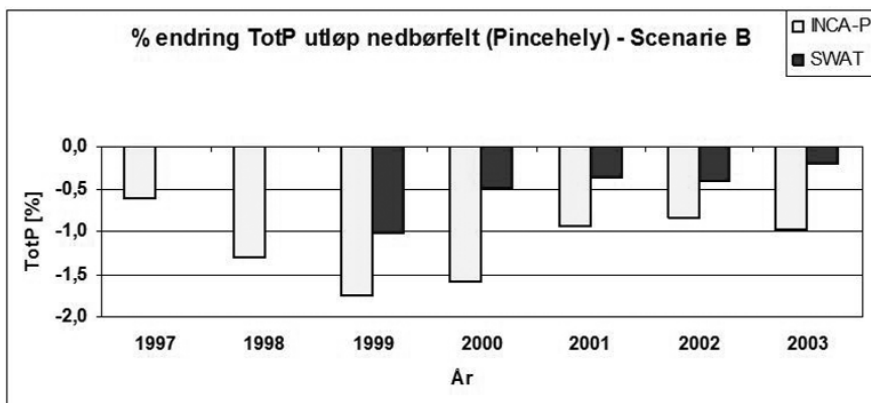
- E Endring i arealfordeling av landbruksarealet i form av at den dominerende veksttypen dyrkes på hele landbruksarealet
- F 20 % av landbruksarealet byttet ut med skog
- G 20 % reduksjon i utslipp fra punktkilder (reduksjon ved kilden)

Ingen av modellene var teknisk sett i stand til å representere alle tiltakene uten omfattende restrukturering av modelloppsettet. Tabell 3 viser hvilke modeller som var i stand til å repre-

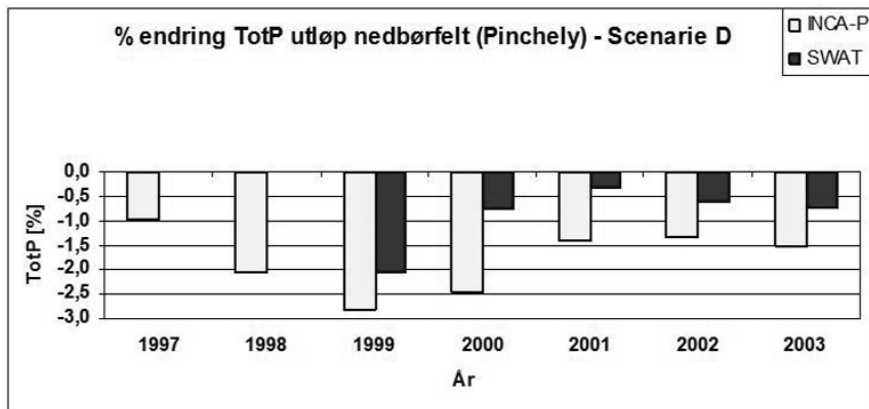
sentere hvilke scenarier. I denne artikkelen er kun resultater fra simulering av scenariene B, D, F og G presentert. Det henvises til Bakken et al. (2006) for en detaljert presentasjon av samtlige scenarier. Scenarie-resultatene er sammenlignet mhp. årlige TotP-transportverdier ved utløpet av nedbørfeltet (Pincehely). Det må også understrekes at scenariene kun er tenkte tiltak, de er ikke blitt iverksatt i nedbørfeltet, og at det derfor åpenbart heller ikke er observasjoner tilgjengelig som kan verifisere simuleringsresultatene.

Modell/ Scenarie	TEOTIL	INCA-P	SWAT
A	I.R.	X	X
B	I.R.	X	X
C	I.R.	X	X
D	I.R.	X	X
E	I.R.	I.R.	I.R.
F	X	X	I.R.
G	X	X	X

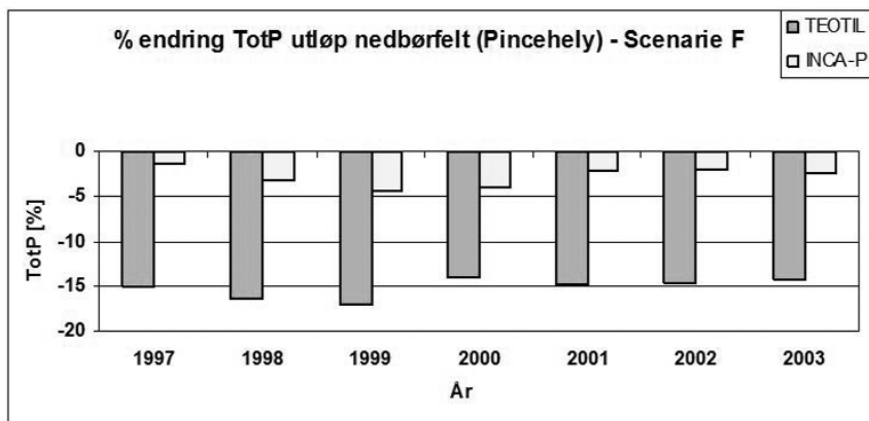
Tabell 3. Oversikt over hvilke modeller som rent teknisk var i stand til å representere de forskjellige scenariene uten restrukturering av modelloppsett, indikert med X. I.R. = ikke relevant, innebærer at modellene ikke håndterte disse scenariene. I denne artikkelen er kun resultater fra simulering av scenariene B, D, F og G presentert.



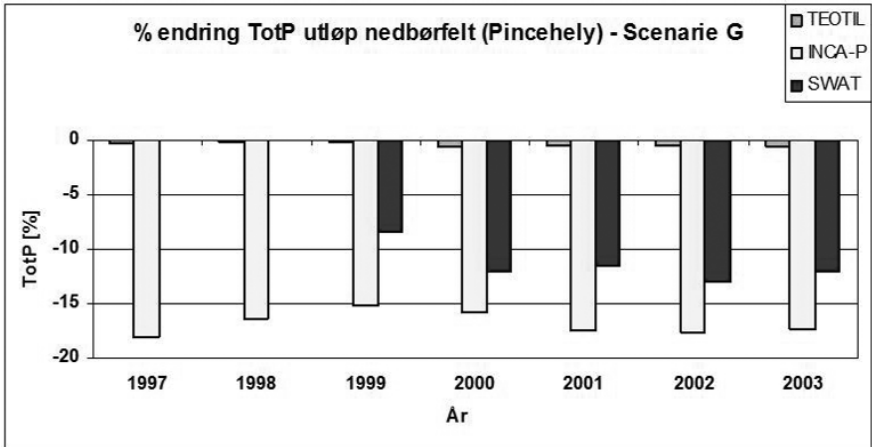
Figur 7. Sammenligning av årlige TotP transportverdier ved Pincehely (ved utløpet av Kapos nedbørfelt) ved simulering av scenarie B (se definisjon av scenariene i innledning til dette hovedavsnitt av artikkelen) med INCA-P og SWAT. Figuren viser prosentvis endring i forhold til de respektive kalibreringsverdiene



Figur 8. Sammenligning av årlige TotP transportverdier ved Pinchely (ved utløpet av Kapos nedbørfelt) ved simulering av scenarie D (se definisjon av scenariene i) med INCA-P og SWAT. Figuren viser prosentvis endring i forhold til de respektive kalibreringsverdiene



Figur 9. Sammenligning av årlige TotP transportverdier ved Pinchely (ved utløpet av Kapos nedbørfelt) ved simulering av scenarie F (se definisjon av scenariene i innledning til dette hovedavsnitt av artikkelen) med TEOTIL og INCA-P. Figuren viser prosentvis endring i forhold til de respektive kalibreringsverdiene



Figur 10. Sammenligning av årlige TotP transportverdier ved Pincehely (ved utløpet av Kapos nedbørfelt) ved simulering av scenarie G (se definisjon av scenariene i innledning til dette hovedavsnitt av artikkelen) med TEOTIL, INCA-P og SWAT. Figuren viser prosentvis endring i forhold til de respektive kalibreringsverdiene

Basert på simuleringsresultatene er det verdt å merke seg følgende:

- Scenarie B er definert som en 20 % reduksjon i gjødsling med uorganisk P. Simuleringsresultatene viser en relativt liten reduksjon i transportverdier, hvor INCA-P simulerer en reduksjon på 1,7 % som maksimum (1999) og SWAT nær 0 % i 2003 som et minimum. INCA-P er generelt mer sensitiv til endringen enn SWAT.
- Scenarie D viser i store trekk det samme mønsteret som scenarie B, hvor INCA-P igjen er mer sensitiv til det definerte tiltaket. Den største reduksjonen er igjen med INCA-P i 1999. SWAT simulerer den minste reduksjonen på om lag 0,3 %, denne gangen i 2001. En 20 % reduksjon i gjødsling med organisk P gir en større effekt på årlige TotP transportverdier enn en tilsvarende reduksjon i uorganisk P-gjødsling.
- Scenarie F ble simulert av TEOTIL og INCA-P og viser store forskjeller mellom modellene. TEOTIL anser avrenning fra landbruksarealer til å være en mye mer dominant kilde enn INCA-P, da en 20 % reduksjon i landbruksarealer til fordel for skog gir en mye større reduksjon i TotP-verdiene enn tilsvarende med INCA-P. En 20 % reduksjon i landbruksarealene beregnes av TEOTIL til å gi om lag 15 % reduksjon i årlige transportverdier.
- I scenarie G ble en 20 % reduksjon i utslipp fra punktkilder simulert. TEOTIL simulerte en slik utslippsreduksjon til å ha en nærmest ubetydelig virkning på transportverdiene ved utløpet av nedbørfeltet (mindre enn 0,5 % de fleste år). INCA-P beregner gjennomsnittlige årlige reduksjon til å være noe i underkant av 17 %, mens SWAT simulere tilsvarende til 11,4 %.

Ut fra dette kan vi si at INCA-P anser en reduksjon i punktkildene å være svært avgjørende for å redusere årlige transportverdier, likeså SWAT, men i en mindre ekstrem grad.

- INCA-P og SWAT, som begge er prosessbaserte modeller, greier i større grad å representere de foreslåtte forurensningsreducerende tiltak enn TEOTIL, se oversikt over dette i tabell 3. Ingen av modellene var i stand til å simulere scenarie E uten større strukturelle endringer i modelloppsettet.

## Oppsummerende betraktninger

Resultatet av dette studiet kan virke nedslående for en forvalter som søker råd hos modellører ved utvikling av tiltaksplaner. Vil valget av modellør, og dermed som regel også valg av modell, påvirke hvilken tiltakspakke som foreslås? Scenariestudiet presentert i foregående kapitler peker i forskjellige retninger for hvor tiltak bør settes inn, avhengig av hvilke modellresultater man stoler på. TEOTIL-simuleringene indikerer at tiltak på landbruksarealene (eksemplifisert gjennom å legge arealer brakk/endre til skog) vil gi en stor reduksjon i reduksjon i transport av TotP ut av nedbørfeltet, mens INCA-P (gjennom scenariene B, D og F) og SWAT (gjennom scenariene B og D) anslår effekten av tiltak på landbruksarealene for små. Gjennom scenarie G ser vi at TEOTIL, INCA-P og SWAT vurderer effekten av reduksjon i punktkilder svært forskjellig. INCA-P simulerer en svært stor reducerende effekt på

TotP-verdiene, SWAT en stor reducerende effekt, mens TEOTIL betrakter en reduksjon i utslipp fra punktkildene som å ha en nærmest marginal effekt på TotP-transportverdiene ut av nedbørfeltet.

Ved å gå dypere inn i modellenes konsept og struktur, forutsetningene/forenklingene gjort ved oppsettet av modellene og bakgrunnen for beregning av observerte årlige transportverdier, så er ikke de sprikende simuleringsresultatene veldig overraskende. Når det gjelder observasjonene anvendt ved tilpassing av TEOTIL og INCA-P, så preges disse svært av hvordan konsentrasjonsmålingene er interpolert og videre multiplisert med vannføringsdataene. Dette gir veldig høye transportverdier, muligens for høye. Det er symptomatisk nok i nedbørrike år hvor avvikene mellom INCA-P sine simuleringsresultater og observasjonene er størst. INCA-P treffer de høye verdiene dårlig, noe som også skyldes svakheter i den hydrologiske rutinen og at den anvendte versjon av INCA-P ikke inkluderer partikulært fosfor. Dette, sammen med måten INCA-P knytter punktkildene til vassdraget, uten noen forutgående lokal retensjon, forklarer at INCA-P vil komme til å overvurdere punktkildenes betydning for de total transportverdier ut av nedbørfeltet. Kalibreringen av TEOTIL ble utført ved at avrenningskoeffisientene fra arealer ble fritt tilpasset gjennom Monte Carlo-simuleringer. Dette muliggjorde at modellen også kunne treffe de høye observasjonene, men muligens var dermed avrenningskoeffisientene også stilt for høyt. En

reduksjon i landbruksarealene vil dermed påvirke de totale TotP-transportverdier mye, noe som forklarer hvorfor TEOTIL peker på denne kildekategorien når tiltak skal anbefales. SWAT legger seg mellom resultatene fra TEOTIL og INCA-P og peker ikke så ensidig på punktkilder eller avrenning fra landbruksareal. At SWAT-anvendte observasjoner framkommet vha. en annen aggregerings-/interpolasjonsteknikk til kalibrering, bidrar nok også til at scenarieresultatene gir et annet bilde enn for de to andre modellene. Til slutt må det igjen understrekes at den virkelige effekten av tiltakene ikke er kjent slik, at det faktisk er vanskelig å vurdere godheten av simuleringene, selv om dette altså er forsøkt over. En annen tilnærming til å undersøke effekten av tiltak vil kunne være å analysere tilgjengelige data (meteorologi, vannføring, vannkjemi (inkludert forskjellige P-fraksjoner), kjente kildevariasjoner, osv.).

Det må understrekes at de simulerte tiltakene er meget forenklet i forhold til hvordan reelle tiltakspakker vil se ut i norske vassdrag med eutrofieringsproblemer. De forskjellige typer tiltak er simulert hver for seg, mens det i et virkelig tiltakstudie vil være behov for å se samlet på flere kategorier tiltak. Tiltakene i vår studie er dessuten simulert som uniforme over hele nedbørfeltet og iverksatt samtidig. I en reell situasjon må også kostnadene (og evt. samfunnsgevinsten) beregnes for å finne kost/nytteeffekten av de forskjellige tiltak. Selv om et bestemt tiltak kan ha stor forureningsreducerende effekt, er dette

dermed ikke nødvendigvis det beste tiltaket hvis det er veldig kostbart.

Modellene anvendt i denne studien kan også tenkes komplementerende ved eutrofieringsstudier i norske nedbørfelt. I dette studiet har det vært fokus på simulering av tiltak, men modeller kan også benyttes til for eksempel en enkel "screening" av forureningsssituasjonen, hvor enklere modeller som TEOTIL vil fungere utmerket til å få en oversikt over hovedkilder og de største problemområdene. TEOTIL har dessuten en meget tiltalende måte å presentere resultater på gjennom ESRI ArcGIS-grensesnitt. Prosessbaserte modeller, som INCA-P og SWAT, vil ha sin styrke i mer detaljerte studier hvor innsikt i nedbørfeltets prosesser og simulering av effekten av tiltak vil være viktig. Det bør også nevnes spesielt at det foregår utviklingsarbeid for å koble INCA-P sammen med mer dedikerte responsmodeller i innsjøer og elver. På tross av metodiske problemer, sprikende modellresultater og manglende evne til å simulere bestemte typer tiltak, mener vi at valg av riktig modell, eller kombinasjon av modeller, kombinert med en trenet og kommuniserende modellør vil kunne gi forvaltningen gode og velfunderte råd ved utvikling av tiltaksplaner.

## Referanser

AQUAPOL-prosjektet,  
[www.aquapol.no](http://www.aquapol.no), juni 2007.

Bakken, T.H., A. Lázár, M. Szomolányi, À. Németh, T. Tjomsland, J.R. Selvik, S.A. Borgvang & J. Fehér. Model application and comparison in

the Kapos catchment, Hungary. NIVA-rapport nr 5189-2006. ISBN-82-577-4907-9. 2006.

DIRECTIVE 2000/60/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 October 2000 - Establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Union L 327/1, pp 1-72. [http://europa.eu.int/comm/environment/water/water-framework/index\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/environment/water/water-framework/index_en.html). 2000.

ESRI, ArcGIS, <http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>, juni 2007.

ESRI, ArcView, <http://www.esri.com/software/arcgis/arcview/index.html>, juni 2006.

EUROHARP-prosjektet, [www.euroharp.org](http://www.euroharp.org), juni, 2007.

EUROHARP Toolbox, [www.euroharp.org/toolbox](http://www.euroharp.org/toolbox), juni, 2007.

Nash, J.E. og J.V. Sutcliffe. River flow forecasting through conceptual models. Journal of Hydrology 10, 282–290. 1970.

Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, R. Srinivasan & J.R. Williams. Soil and Water Assessment Tool User's Manual, Version 2000, Texas Water Resource Institute, College Station, Texas, TWRI Report TR-192. 2002.

SFT 95:02 Miljøsmål for vannforekomstene. Tilførselsberegning. Veiledning 95:02. TA-1139/1995), 70 sider.

Selvik, J.R., T. Tjomsland, S.-A. Borgvang og H.O. Eggestad. Tilførsler av næringssalter til Norges kystområder, beregnet med tilførselsmodellen TEOTIL. Statlig program for forurensningsovervåking, Rapport nr 943/2005, TA-2137/2005. NIVA-rapport, L.nr. 5103-2005. 57 s. 2005.

SWAT. Official SWAT Web site. <http://www.brc.tamus.edu/swat>. Juni 2007.

Tjomsland, T. og J.L. Bratli. Brukerveiledning og dokumentasjon for TEOTIL. Modell for teoretisk beregning av fosfor- og nitrogentilførsler i Norge (brukerdokumentasjon). NIVA-rapport, L.nr. 3426-96, 84 pp. 1996.

Vagstad N. og H. French, 2005. Internt prosjektdokument i EUROHARP-prosjektet.

Wade, A. J., P.G. Whitehead & D. Butterfield. The Integrated Catchment model of Phosphorus dynamics (INCA-P), a new approach for multiple source assessment in heterogeneous river systems: model structure and equations. Hydrology & Earth System Sciences. 2002.