

Vatten 1999, 55(3): 209-214

Begreppsmässiga avrinningsmodeller – tillförlitliga verktyg i vattenplaneringen?

Conceptual runoff models - reliable tools in water management?

Jan Seibert
Uppsala Universitet
Institutionen för geovetenskaper, hydrologi
Villav. 16
752 36 Uppsala
e-post: jan.seibert@hyd.uu.se

Abstract

Available observations are often not sufficient as a basis for decision making in water management. Conceptual runoff models are frequently used as tools for a wide range of tasks to compensate the lack of measurements, *e.g.*, to extend runoff series, compute design floods and predict the leakage of nutrients or the effects of a climatic change. Conceptual runoff models are practical tools, especially if the reliability in their predictions can be assessed. Testing of these models is usually based solely on comparison of simulated and observed runoff, although most models also simulate other fluxes and states. Such tests do not allow thorough assessment of model-prediction reliability. Testing two models, the HBV model and TOPMODEL, in various ways indicated limitations of conceptual runoff models and highlighted the need for powerful validation methods. The use of such methods enables assessment of the reliability of model predictions. This assessment supports the reasonable use of models in water management because it helps to prevent false judgements about the reliability.

Keywords: Validation, conceptual runoff models, calibration, uncertainty, TOPMODEL, HBV model

Sammanfattning

Tillgängliga mätdata är ofta otillräckliga som beslutsunderlag i vattenresursfrågor. Begreppsmässiga avrinningsmodeller används i många sammanhang för att kompensera bristen på mätdata. Exempel på användningsområden är förlängning av avrinningsserier, beräkning av dimensionerande flöden eller prognoser av läckage av näringsämnen och effekter av en klimatförändring. Begreppsmässiga avrinningsmodeller är användbara verktyg, särskilt om tillförlitligheten av deras prognoser kan bedömas. Modellerna testas vanligtvis bara genom man jämför simulerad och uppmätt avrinning, trots att de även används för att simulera andra variabler än avrinningen. En sådan enkel jämförelse gör det inte möjligt att kunna bedöma tillförlitligheten av modellprognoserna. Olika mer ingående tester av två modeller, HBV-modellen och TOPMODEL, visade begränsningar av begreppsmässiga avrinningsmodeller och underströk vikten av kraftfulla valideringsmetoder. Genom att tillämpa dessa metoder kan man bättre uppskatta tillförlitligheten hos modellprognoser. Härigenom underlättas en förnuftig utnyttjande av modellresultat vid vattenplaneringen.

Inledning

För mycket och för litet vatten skapar problem för människan. Det är därför viktigt att kunna förutsäga förändringar i vattnets kretslopp. Datormodeller används ofta som hjälpmedel för

att få fram planeringsunderlag. Liedholm (1999) diskuterar lämpliga egenskaper hos modeller i vattenplanering. Han betonar att modellen bör inge förtroende, besitta tillräcklig noggrannhet och vara så enkel som möjligt med hänsyn till problem och mål. Begreppsmässiga

avrinningsmodeller (conceptual runoff models), som t.ex. HBV-modellen (Bergström, 1992), uppfyller det sistnämnda kravet, men inte nödvändigtvis de två andra. När man tillämpar sådana modeller till ett visst område bestämmer man värdena för olika modellparameter genom att man söka värden som ger bäst anpassning mellan uppmätt och simulerad avrinning (s.k. kalibrering).

Baserat på olika studier med två avrinningsmodeller, HBV-modellen och TOPMODEL (Beven m.fl., 1995), kom jag i min avhandling (Seibert, 1999a) fram till följande slutsatser som kommer att diskuteras i denna uppsats:

- Parametersäkerheten gör att modellberäkningar blir osäkra.
- En begreppsmässig modell som har anpassats enbart mot avrinningen kan inte förväntas beskriva variationen hos t.ex. grundvattennivåer och så kallade interna variabler.
- Genom att kalibrera mot olika variabler kan man minska parametersäkerheten.
- Ingående modelltester är viktiga för att man ska kunna bedöma modellens tillförlitlighet.
- Kännedom om en modells tillförlitlighet och noggrannhet är viktig för att modellprognoser ska vara av största möjliga nytta vid praktiska problem.

Parametersäkerheten

De flesta parametervärdena i begreppsmässiga modeller kan inte bestämmas genom direkta mätningar i avrinningsområdet utan de bestäms genom kalibrering. Oftast är det dock inte möjligt att fastlägga en unik parameteruppsättning, utan flera olika uppsättningar ger lika bra anpassning. Problemet med denna parametersäkerhet är att olika uppsättningar, även om de ansågs som lika lämpliga för kalibreringsperioden, kan ge olika resultat när de används för en avrinningsprognos. HBV-modellen (Bergström, 1992) användes för att studera effekten av parametersäkerheten i två studier (Seibert, 1997; Uhlenbrook m.fl., 1999). I båda fall

användes en Monte-Carlo metod där modellen kördes med 500 000 slumpmässigt framtagna parameteruppsättningar. Sedan användes bara de uppsättningar som hade gett bäst anpassning för att beräkna olika flödestillfällen. I första exemplet simulerades en uppmätt vårfloed (Figur 1), i det andra beräknades flödena som orsakas av nederbörd med olika återkomsttider (Figur 2). I båda fallen varierade prognoserna avsevärt för de olika parameteruppsättningarna. Mot bakgrund av dessa resultat är ett rimligt krav att modellprognoser borde anges som intervall istället för som ett enda värde på den beräknade variabeln. Monte-Carlo metoder kan användas för att uppskatta intervallen. Med dessa metoder kan man ta hänsyn till parametersäkerheten eller osäkerheten i indata.

Interna variabler

I TOPMODEL (Beven et al., 1995) används ett index för att ta hänsyn till topografins betydelse för avrinningsbildningen. Indexet I definieras som kvoten mellan det lokala tillrinningsområdets arean och markytans lutning, och kan lätt beräknas ur digitala höjddata. För en viss yta beräknas indexet som $I = \ln(a/\tan\beta)$, där a [m] är det lokala tillrinningsområdets area per breddenhet av ytan längs höjdlinjerna (dvs vinkelrätt mot grundvattenströmningen) och β är markytans lutning. Med hjälp av indexet beräknas lokala grundvattennivåer och det är just denna möjlighet som har gjort TOPMODEL mycket populär.

I en studie i ett litet avrinningsområde vid Gårdsjön, Bohuslän testades grundvattensimuleringarnas tillförlitlighet. Observerade grundvattennivådata fanns här tillgängliga från ungefär 35 grundvattenrör. Modellen kalibrerades först mot avrinningsdata och sedan jämfördes simulerade och uppmätta grundvattennivåer för 32 olika tidpunkter. Enligt TOPMODEL är grundvattennivåerna vid en viss tidpunkt en linjär funktion av indexet I . Sambandet mellan indexvärdena och nivåerna var svagt för alla tidpunkter. Förutom spridningen avvek de simulerade nivåerna systematiskt från observationerna när parametrarna från kalibreringen mot avrinningen användes (Figur 3, tomma cirklar).

Ett försök gjordes att förbättra simuleringen av grundvattennivåerna. Mätningar från en

tidpunkt användes för att ersätta indexvärden som hade beräknats ur topografin med ett kalibrerat index. De nya indexvärdena beräknades så att simulerade och observerade nivåerna stämde exakt för en tidpunkt och testades sedan för andra tidpunkter. Simuleringarna av nivåerna förbättrades avsevärt (Figur 3). Metoden är dock av begränsat praktiskt värde, eftersom den enbart är användbart för platser där grundvattennivån mätts minst en gång.

Resultat var liknande i en studie med HBV-modellen, där modellen testades mot både avrinning och grundvattennivåer (här uttryckta som medel över avrinningsområdet) (Seibert, 1999b). När modellen kalibrerades mot bara avrinningen var överensstämmelsen mellan simulerade och uppmätta grundvattennivåer dålig. Modellen kalibrerades också mot både avrinning och grundvattennivåer samtidigt och det gick att hitta parametrar som gav en bra anpassning för båda variablerna. Vidare undersöktes hur parameterosäkerheten påverkades när modellen kalibrerades med hänsyn till olika variabler. En automatisk rutin användes för att kalibrera modellen 25 gånger mot bara avrinning och lika många gånger mot både avrinning och grundvattennivåer. Rutinen innehöll stokastiska element och på grund av parameterosäkerheten varierade de kalibrerade parametervärdena (anpassningens kvalitet var dock nästan lika bra i samtliga fall). Parametervärdenas spridning minskade avsevärt när också grundvattennivåer användes vid kalibreringen (Figur 4).

Hur kan avrinningsmodeller testas?

Vanligtvis testas modeller bara genom att man jämför simulerad och uppmätt avrinning, trots att de simulerar även andra variabler. Med hjälp av mer ingående tester kan man få en säkrare bedömning av värdet hos modeller och modellprognoser. Vidare kan sådana tester vara till hjälp vid modellutvecklingen genom att de påvisar svaga sidor och ger möjlighet att utvärdera försök till förbättringar.

Begreppet validering av en modell tolkas på olika sätt. Ofta kallas en modell för validerad om dess simulering av vattenföringen stämmer någorlunda väl överens med observationerna för en tidsperiod som inte har används för att

anpassa modellen. Validering enligt denna tolkning är en rätt ytlig test av modellen och det är knappast förvånansvärt att modeller klarar provet i de allra flesta fall. Grundligare tester krävs för att verkligen kunna bedöma en modell och därför görs här en vidare tolkning av begreppet validering. Valideringen innefattar då alla tester av modellen som bidrar till uppskattningen av modellens tillförlitlighet och noggrannhet med hänsyn till dess användningsområde. Validering är inte begränsad till en viss modelltillämpning utan omfattar också generella granskningar av modellens möjligheter och begränsningar. För de flesta tillämpningsområdena krävs att man genomför olika tester för att man ska kunna värdera modellens lämplighet. Validering är då en pågående process där medverkan av oberoende forskargrupper är viktigt.

Tanken bakom denna bredare tolkning av validering är att så mycket som möjligt borde testas. Ofta är det enkelt att hitta aspekter som stödjer modellens giltighet – om man bara söker efter sådana. Vad man även borde leta efter är aspekter där svaga sidor av en modell kan hittas.

Det vanligaste testet är att man kalibrerar modellen för en viss tidsperiod och sedan använder samma parametrar för en oberoende tidsperiod. På samma sätt som man då testar den anpassade modellen genom att byta den simulerade tidsperioden kan man byta de simulerade avrinningsområdena eller variablerna (Figur 5). För alla dessa tre sätt kan följande tester genomföras (Figur 6):

- A. Kalibrering mot samtliga data: är det möjligt att få en bra anpassning?
- B. Kalibrering mot en del av data, validering mot resten av data: ger parametervärden en bra anpassning även för tidsperioder/avrinningsområden/variabler som inte används i kalibreringen?
- C. Samma som B men uppdelningen av data för kalibrering och validering görs så att det finns signifikanta skillnader, t.ex. låg/hög vattenföring, områden med mycket/lite skog, rumslig integrerade/fördelade data: ger modellen bra resultat för situationer som skiljer sig från de som används för kalibreringen?

Ett annat sätt att testa modeller är så kallade blindtester. I blindtester får hydrologen i uppgift att genomföra simuleringen utan att ha tillgång till mätdata på det som ska simuleras. Sådana mätdata används endast för en senare värdering av modellresultaten. Blindtester motsvarar de verkliga omständigheterna där det inte finns några mätningar (t.ex. avrinningen från ett område utan mätstation). I blindtester bedöms inte bara modellen utan också användarens kunskap och erfarenhet.

Betydelsen av ingående modelltester

När man har anpassat en avrinningsmodell till ett visst avrinningsområde och fått en bra överensstämmelse mellan simulerad och uppmätt vattenföring, kan man hävda att modellen 'stämmer' för avrinningen från detta område så länge området är oförändrat (t.ex. markanvändning) och så länge de olika drivvariablerna (nederbörd, temperatur, o.s.v.) varierar på ungefär samma sätt som de gjorde under perioden som användes för att anpassa modellen. Med andra ord: modellberäkningar kan anses vara rätt säkra när det gäller simuleringen av avrinningsdata som i princip motsvarar de redan uppmätta. Däremot kan man vara mycket mindre säker på att modellen ger rätt svar för mer intressanta frågeställningar, t.ex.: Vad händer när det regnar mycket mer? Hur varierar hydrologiska variabler (t.ex. grundvattennivåer, markfuktighet), för vilka det saknas mätningar? Hur stor är avrinningen från ett område där det inte finns någon vattenföringsstation? Hur påverkas avrinningen av en klimatförändring?

Kännedom om hur stora flödena kan bli behövs som planeringsunderlag vid bygge av t.ex. broar och dammar. Den traditionella metoden för att beräkna dessa så kallade dimensionerande flöden har länge varit att anpassa olika statistiska fördelningsfunktioner till de observerade flödena. Funktionerna kan sedan extrapoleras för att bestämma t.ex. ett 1000-års flöde. Metoden är enkel att använda och ger ett svar på problemet. Å andra sidan har den kritiserats mycket, framförallt eftersom de framtagna funktionerna extrapoleras långt utanför de befintliga observationerna. I Sverige och i en del andra länder har man därför övergått till att använda modeller för beräkning av dimensionerande flöden. Metoden kan dock

kritiseras på samma sätt: modellen används för simulering av situationer som inte motsvarar de som använts för att anpassa modellen. Därför är det viktigt att man genom olika tester kan visa att extrapoleringen av modellen är trovärdigare än extrapoleringen av en fördelningsfunktion.

En möjlig klimatförändring kommer att påverka hydrologin. Avrinningsmodeller används för att förutsäga hur t.ex. vårfloden förändras. Prognoserna måste dock granskas kritiskt, eftersom drivvariabler skiljer sig mellan perioden som använts för anpassning och perioden för vilken prognosen görs. Problemet blir ännu mer komplicerat genom att också markanvändningen och vegetationen, och därigenom parametervärdena, kan förväntas förändras vid förändring av klimatet.

Överensstämmelse mellan modellsimuleringar och mätningar för andra variabler än avrinning, så kallade interna variabler (t.ex. grundvattennivåer eller markfuktighet), ökar förtroendet för modellens förmåga att simulera både dimensionerande flöden och effekterna av en klimatförändring. När avrinningsmodeller kopplas till kemiska modeller för att simulera vattenkvaliteten blir den korrekta simuleringen av interna variabler en förutsättning för att modellen ska kunna återge verkligheten.

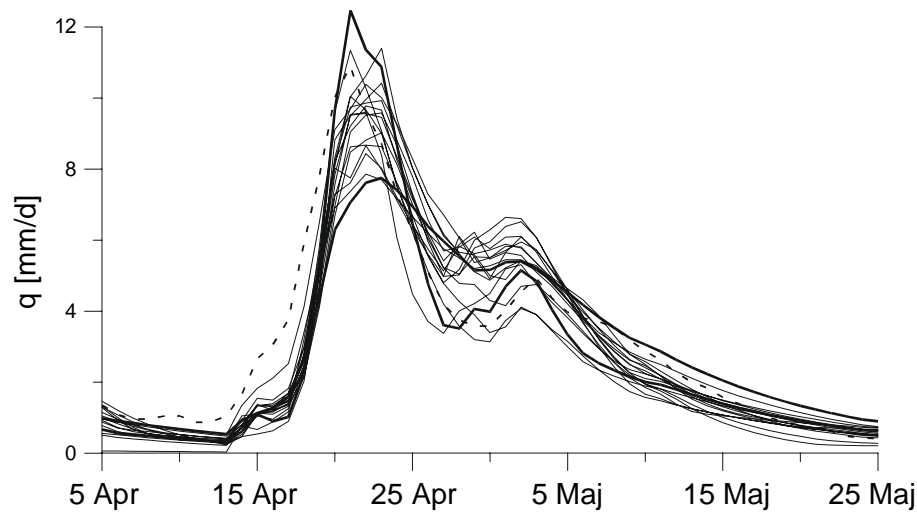
Mot bakgrund av alla tester som skulle kunna genomföras är det förvånansvärt hur lite modeller vanligtvis testas. Hydrologen som ställs inför praktiska problem i planeringen, t.ex. beräkning av ett dimensionerande flöde, förväntas i första hand att ge ett svar till beslutsfattarna och inte att föra fram alla osäkerheter. Att testa modeller ingående betyder att man påpekar (också) deras svaga sidor; att inte göra det innebär risk för felbedömningar av modellernas tillförlitlighet. Två sorters felbedömningar av modellresultat är vanliga: Övertro på modellresultatets tillförlitlighet och inställningen att alla modellprognoser är så osäkra att man inte behöver ta mycket hänsyn till dem i planeringen. Båda dessa extrema åsikter hindra en förnuftig användning av modellresultat i vattenplaneringen. Ingående tester och en dialog mellan hydrologen och beslutsfattaren krävs för en mer nyanserad inställning till modellresultat. Hydrologen måste tala om hur pålitliga prognoserna är och beslutsfattaren får inte nöja sig med en prognos utan angiven tillförlitlighet. Det kan vara svårt

att bedöma och kvantifiera osäkerheterna, men om någon i planeringsprocessen ska göra det så borde det vara hydrologen.

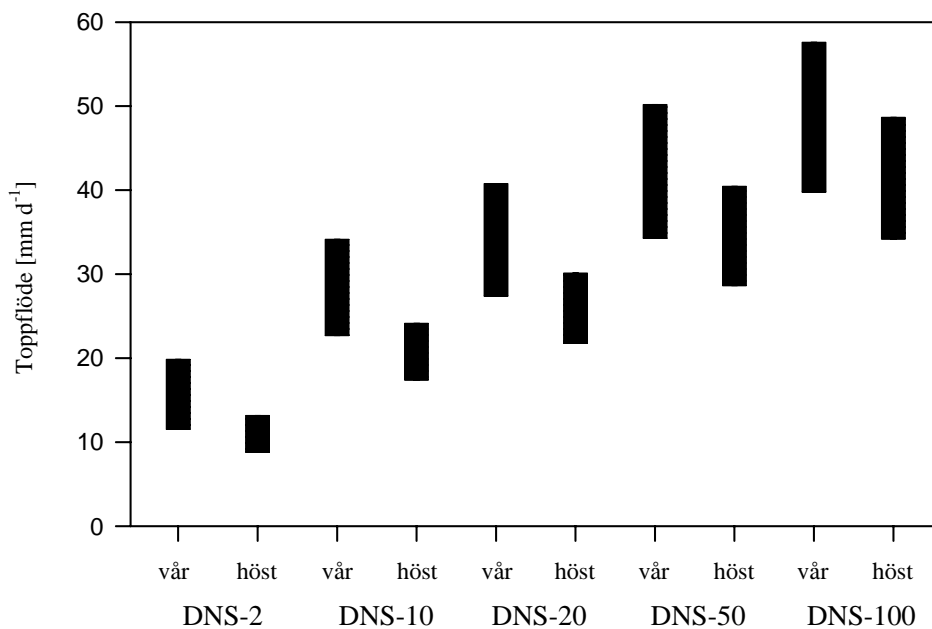
Referenser

- Bergström, S., 1992. *The HBV model - its structure and applications*. SMHI, RH No. 4, Norrköping, 35 sidor.
- Beven, K.J., Lamb, R., Quinn, P., Romanowicz, R. and Freer, J. 1995. TOPMODEL. In: V.P. Singh (ed.), *Computer Models of Watershed Hydrology*, Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, sidorna 627-668
- Liedholm, M., 1999. Lämpliga egenskaper hos modeller i vattenplanering, *Vatten*, 55: 41-44
- Seibert, J., 1997. Estimation of parameter uncertainty in the HBV model. *Nordic Hydrology* 28: 247-262
- Seibert, J., 1999a. Conceptual runoff models - fiction or representation of reality? Acta Univ. Ups., *Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology* 436. 52 sidor. Uppsala. ISBN 91-554-4402-4.
- Seibert, J., 1999b. Multi-criteria calibration of a conceptual runoff model using a genetic algorithm. *Hydrology and Earth System Sciences* (antagen för publicering)
- Seibert, J., Bishop, K., and Nyberg, L., 1997. A test of TOPMODEL's ability to predict spatially distributed groundwater levels. *Hydrological Processes* 11: 1131-1144
- Uhlenbrook, S., Seibert, J., Rodhe, A. and Leibundgut Ch., 1999. Prediction uncertainty of conceptual rainfall-runoff models caused by problems to identify model parameters and structure, *Hydrological Sciences Journal* (i tryck)

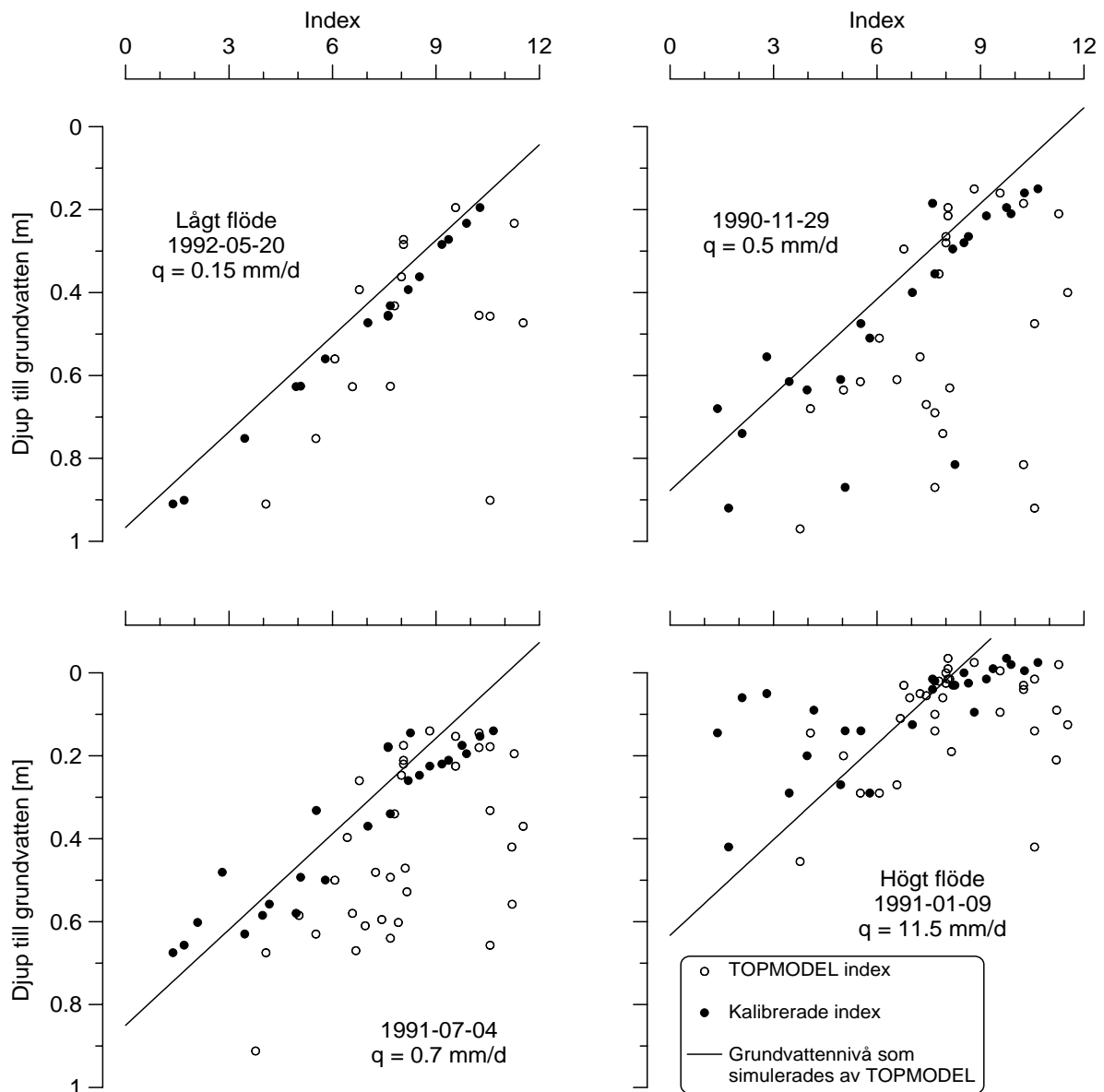
Figurer



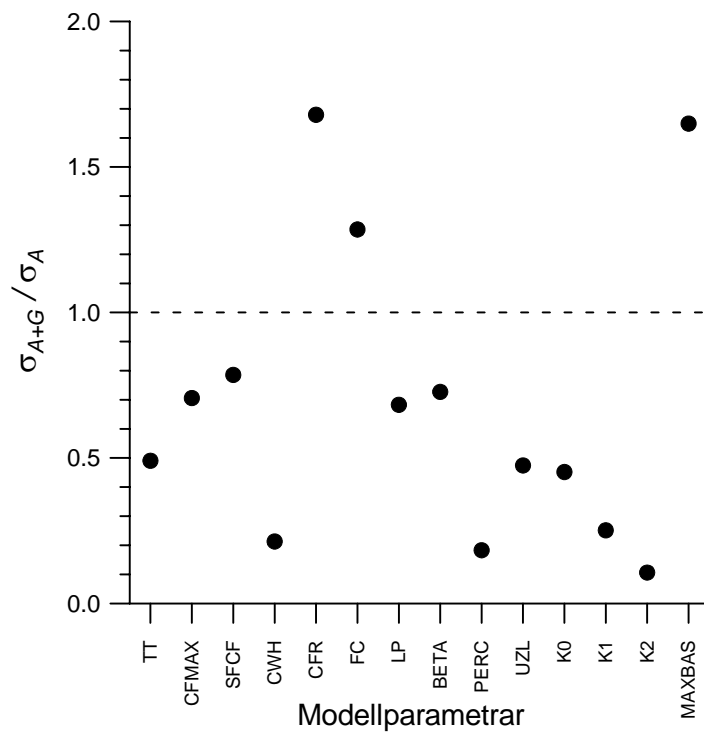
Figur 1. Vårfloden 1985 (Sävaån) simulerad med olika parameteruppsättningar som alla hade givit en mycket bra anpassning för en 10-årsperiod. De tjocka linjerna visar hydrografen med de högsta och lägsta toppflödena och den streckade linje visar den uppmätta hydrografen (efter Seibert, 1997).



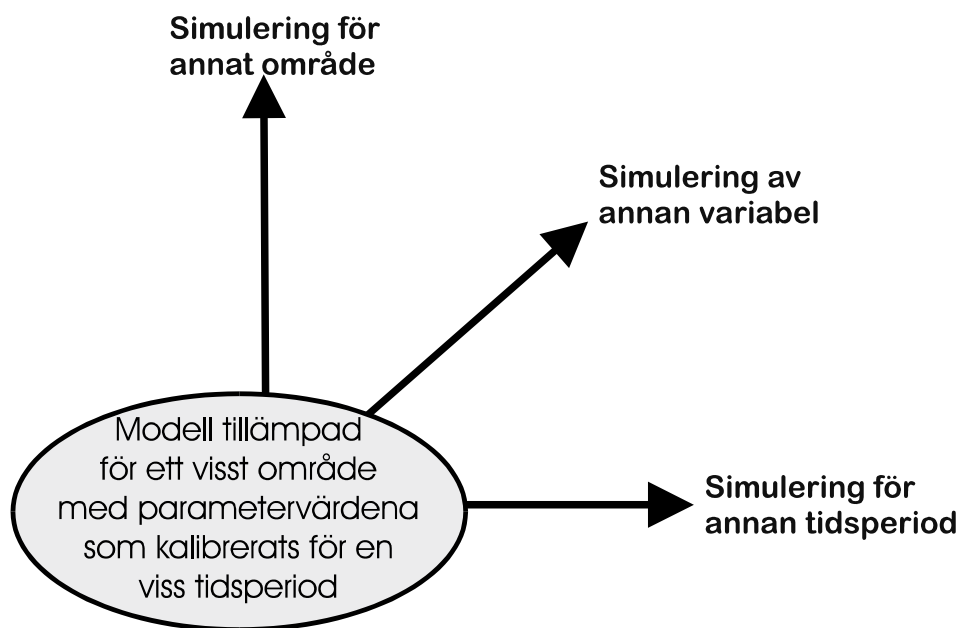
Figur 2. Intervall av beräknade toppflöden för dimensionerande nederbördsserier (DNS) med olika återkomsttider (2 till 100 år) tillämpad i Bruggas avrinningsområde, Tyskland. Utgångspunkten för simuleringarna var vatten- och snöförhållanden i området våren respektive hösten 1980. Simuleringar genomfördes med 37 parameteruppsättningar som alla hade gett en mycket bra anpassning för en 10-årsperiod (efter Uhlenbrook m.fl., 1999).



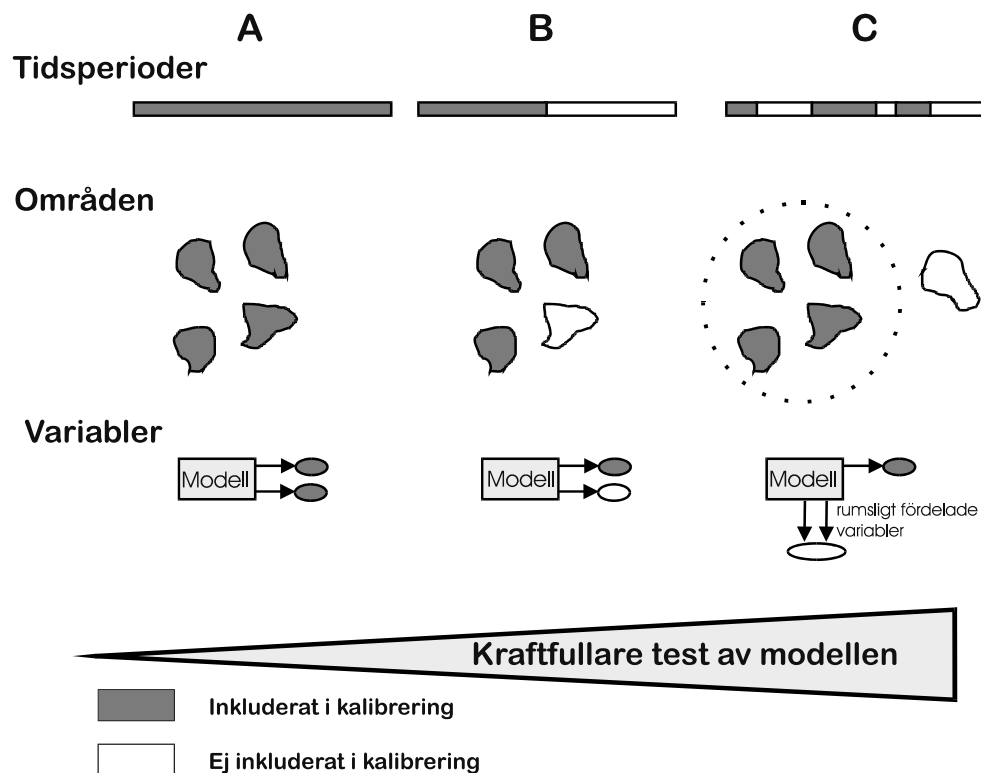
Figur 3. Uppmätta grundvattennivåer mot TOPMODEL-index (tomma cirklar) och index som kalibrerades med hjälp av grundvattennivåmätningar den 4 April 1991 (fyllda cirklar) (Området G1, Takprojektet, Gårdsjön) (efter Seibert m.fl., 1997).



Figur 4. Jämförelse mellan spridningen hos parametervärden som kalibrerats mot avrinning och sådana som kalibrerats mot både avrinning och grundvattennivåer för HBV modellen i Lilla Tivsjöns avrinningsområde, Jämtland. Parametervärdenas spridning jämförs med kvoten mellan standardavvikelsen för värdena från anpassningen mot enbart avrinning (σ_A) och standardavvikelsen för värdena från anpassningen mot både avrinning och grundvattennivåer (σ_{A+G}) (i båda fall användes de 20 bästa av 25 kalibreringsförsök) (efter Seibert, 1999b).



Figur 5. Olika sätt att testa en modell (efter Seibert, 1999a).



Figur 6. Olika sätt att utnyttja data för att testa en modell. A: Kalibrering mot samtliga data, B: Kalibrering mot en del av data, validering mot resten av data, C: Samma som B men uppdelningen av data för kalibrering och validering görs så att det finns signifikanta skillnader, t.ex. låg/hög vattenföring, områden med mycket/lite skog, rumslig integrerade/fördelade data (efter Seibert, 1999a).