

# Hydrologiske modeller

Av Ånund Killingtveit

Ånund Killingtveit er siv.ing. ved NTH (bygg) 1969.  
Dr. ing. ved NTH, 1976. Nå overing. ved Trondheim  
Elektrisitettsverk.

## Innledning

I den senere tiden har anvendelse av matematiske modeller innenfor hydrologi øket raskt. Det finnes en rekke forskjellige typer modeller, en mulig klassifisering er å skille mellom såkalte «*svart boks*»-modeller og *begrepsmessige* modeller.

Utviklingen synes klart å tyde på at det er de såkalte begrepsmessige modellene som vil bli de mest anvendte.

En begrepsmessig modell bygger i størst mulig grad på den kunnskap en har om hydrologiske prosesser og baseres på at modellen bygges opp av kjente årsak-virkning sammenhenger. Kontinuitetslikningen er vanligvis en grunnleggende del av modellene, slik at vannbalansen blir ivaretatt.

Utvikling av slike begrepsmessige modeller startet i USA omkring 1960 og hang nøye sammen med utviklingen av datamaskiner som gjorde det store regnearbeidet mulig. Den første brukbare modellen av denne typen var den såkalte Stanford Watershed Model IV. Denne ble utviklet av Crawford og Lindsley ved Stanford University. Oppbyggingen av denne mest kjente versjon av modellen ble publisert i 1966. Denne modellen har senere blitt videreutviklet og har også dannet grunnlaget for en lang rekke mo-

dell-varianter i forskjellige land. De viktigste hovedtrekkene er imidlertid lite forandret og avvikene mellom denne og forskjellige andre modeller er i prinsippene små. Slike modeller vil i praksis alltid programmeres for simulering i en datamaskin.

To modeller har særlig interesse for norske forhold:

- HBV-modellen, utviklet ved Sveriges Meteorologiske og Hydrologiske Institutt /1/.
- SNSF-modellen, utviklet ved Hydrologisk Avdeling i NVE /2/.

Begge disse modellene har vært systematisk utprøvd for norske forhold, /3/, og konklusjonen er at begge fungerer rimelig bra, forutsatt at datagrunnlaget er tilstrekkelig godt.

## Modellstruktur

Modellstruktur i HBV- og SNSF-modellen er vist på fig. 1 og fig. 2. I likhet med de fleste andre tilsvarende modeller har også disse følgende hovedtrekk:

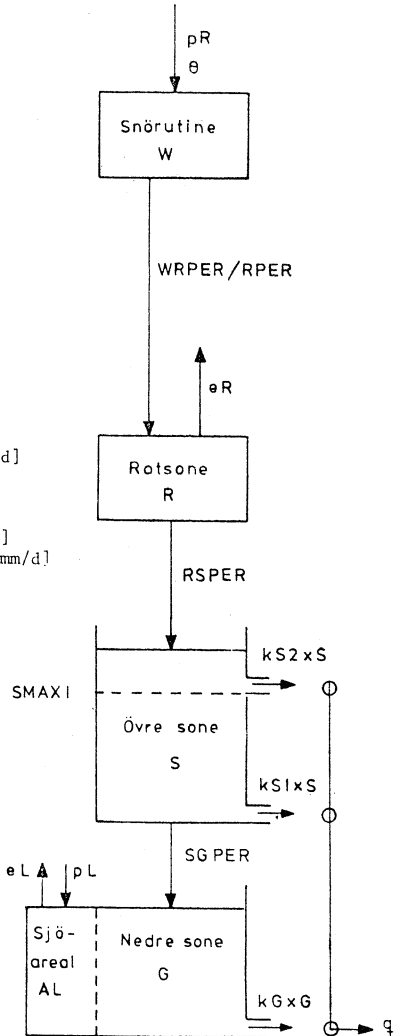
- En såkalt *snørutine* som beskriver oppbygging og avsmelting av snø i vassdraget.

SYSTEMSKISSE HBV-3 MODELLEN

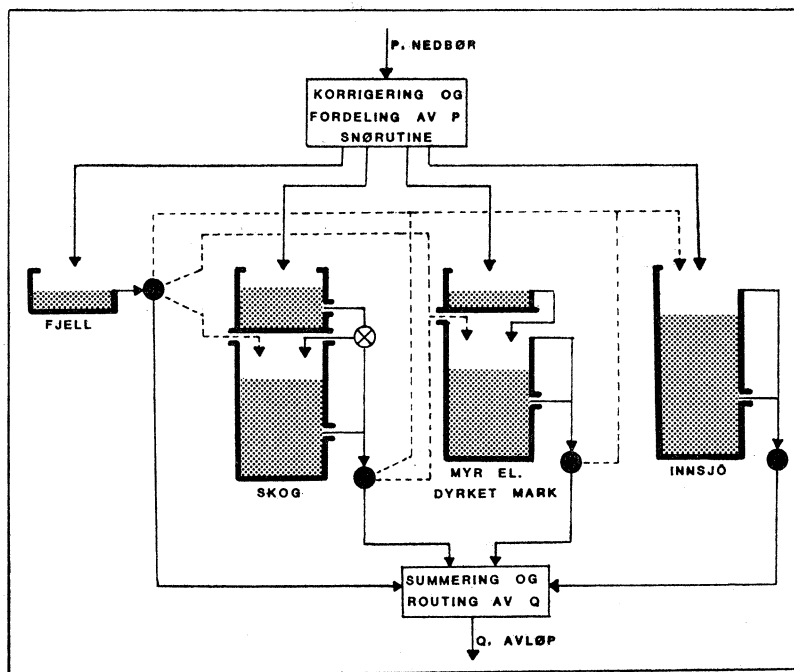
MODELLPARAMETRE

- A - areal [ $\text{km}^2$ ]  
 AL - sjøareal [ $\text{km}^2$ ]  
 $\alpha L$  -  $=AL/A$   
 p - nedbør [ $\text{mm/d}$ ]  
 $\theta$  - lufttemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]  
 e - evapotranspirasjon [ $\text{mm/d}$ ]
- pR - nedbør på rotsonen/snølag [ $\text{mm/d}$ ]  
 W - snømengde [ $\text{mm}$ ]  
 $\theta_o$  - smeltepunkttemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]  
 $\theta_w$  - terskeltemperatur overgang regn/snø [ $^{\circ}\text{C}$ ]  
 $C_o$  - smeltefaktor  
 $S_w$  - innhold av bundet vann i snø [ $\text{mm}$ ]  
 WMIN - grunnbeholdning i snølag [ $\text{mm}$ ]  
 $\alpha_w$  - vanninnhold i snø før avrenning [%]  
 WRPER - infiltrasjon snølag/rotsone [ $\text{mm/d}$ ]
- R - rotsone  $\text{mm}$   
 RPER - infiltrasjon regn/rotsone [ $\text{mm/d}$ ]  
 eR - evapotranspirasjon fra rotsone [ $\text{mm/d}$ ]  
 RMAX - maksimalinnhold i rotsone [ $\text{mm}$ ]  
 ERPOT - grense for potensiell evapotranspirasjon fra rotsone [ $\text{mm}$ ]  
 ePOT - potensiell evapotranspirasjon [ $\text{mm/d}$ ]  
 kSPER - infiltrasjon rotsone/sigevannssone [ $\text{mm/d}$ ]  
 $\beta$  - eksponent i infiltrasjonslikningen
- S - øvre sone [ $\text{mm}$ ]  
 SMAx1 - terskelverdi nr. 1 [ $\text{mm}$ ]  
 SMAx2 - evt. terskelverdi nr. 2 [ $\text{mm}$ ]  
 kS1 - tømningkonstant nr. 1 [ $\text{d}^{-1}$ ]  
 kS2 - tømningkonstant nr. 2 [ $\text{d}^{-1}$ ]  
 kS3 - evt. tømningkonstant nr. 3 [ $\text{d}^{-1}$ ]  
 SGPER - perkulasjon øvre sone/nedre sone [ $\text{mm/d}$ ]
- eL - evapotranspirasjon fra sjøer [ $\text{mm/d}$ ]  
 pL - nedbør på sjøer [ $\text{mm/d}$ ]  
 G - nedre sone [ $\text{mm}$ ]  
 kG - tømningkonstant nedre sone [ $\text{d}^{-1}$ ]
- q - totalt avløp [ $\text{mm/d}$ ]

SYSTEMKART



Figur 1. Systemkisse HBV-3 modellen /ref. 3/.



SNSF-modellens hovedstruktur. Fordunstning er ikke tegnet på figuren, men kan skje fra alle magasiner.

Figur 2. Systemkisse SNSF-modellen [ref. 5].

- En *markvannsd*el som beskriver magasineringen av vann i umettede jordlag, fordampning og perkolasjon (ned-siving) til grunnvannet.
- En *grunnvannsd*el som beskriver magasinering og uttapping av grunnvannsmagasinerne.
- En såkalt «*routing*»-del som beskriver transport av vann i elve- og innsjøsystemet i feltet. (Denne del er vanligvis bare aktuell i større vassdrag

med elvesystemer der transporttiden kan være flere døgn.)

Modellene inneholder en rekke forskjellige *parametre* som vil være karakteristiske størrelser for hvert felt. Parametrene må som regel bestemmes ut fra samtidige målinger av input (nedbør, temperatur o.l.) og output (avløp). Dette kalles *parameter*tilpasning eller *kalibrering* av modellen. Enkelte parametre kan imidlertid bestemmes ut fra topografiske kart, særlig gjelder dette for SNSF-modellen.

Viktige parametre er bl.a.:

- tidskonstanter (som viser hvor hurtig uttapping av de forskjellige magasiner i grunnvannet skjer)
- graddagsfaktorer i snørutiner (som angir mm snøsmelting pr. grad  $> 0^{\circ}\text{C}$ )
- maksimalt mulig vanninnhold i markvannsdelen (feltkapasitet)

Eksempel på parametre som kan finnes fra topografiske kart er sjøprosent, høyde/areal-fordeling (hypsografisk kurve), andel myr, fjell, skog og dyrket mark (i SNSF-modellen).

### Tidsoppløsning

Det mest vanlige er å benytte *1 døgn som tidenhet* i modellene. Dette har sammenheng med at de fleste tilgjengelige observasjoner finnes i form av døgnmiddel (temperatur, vannføring o.l.) eller døgnsummer (nedbør, fordampning). Hitil har det vel heller ikke her i landet vært noe stort behov for kortere tidsoppløsning i modellene. Modellene kan godt nyttes med kortere tidsoppløsning enn 1 døgn uten at dette medfører noen større teoretiske problemer, mens det nok kan medføre større problemer å skaffe tilveie tilstrekkelige data. Det vil da kunne være nødvendig å samle inn nye data med større tidsoppløsning, og kalibrere modellene på nytt. Dette vil først og fremst være aktuelt ved tilsigsprognosering og flomvarsling i felter med rask reaksjonstid.

### Inngangsdata

Hovedformålet med hydrologiske modeller, slik de hittil har vært mest anvendt, er å simulere selve avløpet fra et

felt. Til dette behøves minimum følgende data:

- nedbør (både ved tilpasning og bruk)
- lufttemperatur (både ved tilpasning og bruk)
- avløp (ved tilpasning).

Nedbørsdata er svært kritiske data for modellen, og det er vanligvis disse det er mest problematisk å skaffe tilveie. Dette henger sammen med at nedbørsdata gir den totale vannmengden inn i modellen, og må derfor oppgis som *arealnedbør*. Nedbørsmålinger som utføres i eller utenfor et felt gir ikke uten videre den virkelige arealnedbøren av følgende årsaker:

- Nedbørsmålerne måler ikke *sann* nedbør, men nesten bestandig noe for lite. Feilen kan være liten (0—10%) for regn, og er vanligvis langt større for snø (ofte 50% eller mer).
- Den sanne nedbøren i det punkt nedbørsmåleren står er oftest ikke representativ for forholdene i hele nedslagsfeltet p.g.a. systematiske forskjeller i nedbørfordelingen. Det vanlige er f.eks. at nedbøren nede i dalene, der nedbørsmålere oftest er plassert, er mye mindre enn oppe på fjellet.
- Nedbøren faller som regel ikke jevnt fordelt, men i form av byger. Dette medfører at selv om en måler står representativt plassert, kan den i kortere perioder måle for lite eller for mye i forhold til feltgjennomsnittet. Dette medfører at en ofte må ha flere målere for å dekke et felt brukbart.

Temperaturdata benyttes i modellene til å beregne om nedbør faller som regn eller snø, og til å beregne snøsmelting/-frysing

I SNSF-modellen brukes også lufttemperaturen til å beregne fordampning fra feltet.

I lavtliggende områder er det vanligvis brukbar dekning av temperaturmålinger, mens høyfjellsfelt ofte er dårligere dekket. Vanligvis vil imidlertid temperaturdata ikke være noe stort problem å skaffe tilveie.

Avløpsdata er som regel nødvendig for å kalibrere modellene. Det er trolig mulig å tilpasse modellene også uten avløpsdata, men dette stiller da større krav til nedbør- og temperaturdata, og medfører en større usikkerhet ved anvendelse av modellene. Dersom modellene benyttes til prognoseformål, er det vanligvis også nødvendig å ha avløpsmålinger til å oppdatere modellene fortløpende. Med oppdatering menes å korrigere de tilstandene som er simulert i modellen (f.eks. snømagasin, markvann etc.) slik at tilstanden i modellen til enhver tid er mest mulig lik de naturlige forhold vi ønsker å prognosere ut fra. Oppdatering kan også utføres på grunnlag av andre målinger, f.eks. tradisjonelle snømålinger, satelittbilder som gir snødekning o.l.

### Anvendelse av hydrologiske modeller

En ferdig kalibrert hydrologisk modell kan brukes til flere ulike formål:

- *Prognose* av avløp fra et gitt tidspunkt, gitt starttilstand og prognoser for nedbør og lufttemperatur.
- Simulering av *mulige framtidige avløpsforløp*, gitt en bestemt utgangssituasjon f.eks. et bestemt snømagasin, og en rekke *mulige* utviklinger av nedbør og temperaturforhold. Aktuelt er det f.eks. å starte med et visst snømagasin (målt eller simulert) og ana-

lysere forskjellige mulige forløp av vårflommen ved å bruke f.eks. observerte nedbør- og temperaturdata for en rekke forskjellige år.

- *Rekonstruksjon* av avløp i en periode der målinger mangler, på grunnlag av observasjoner av nedbør og temperatur. På denne måten kan manglende data fylles inn i en serie, eller en data-serie kan forlenges.

Hittil er modellene her i landet særlig tenkt anvendt til prognosering, hovedsakelig som et hjelpemiddel for optimalisering av kraftverksdrift. I andre land benyttes tilsvarende modeller for prognosering av flommer, tørkeperioder, beregning av vanningsbehov og, i stadig økende grad, for simulering av vannkvalitet i resipienter.

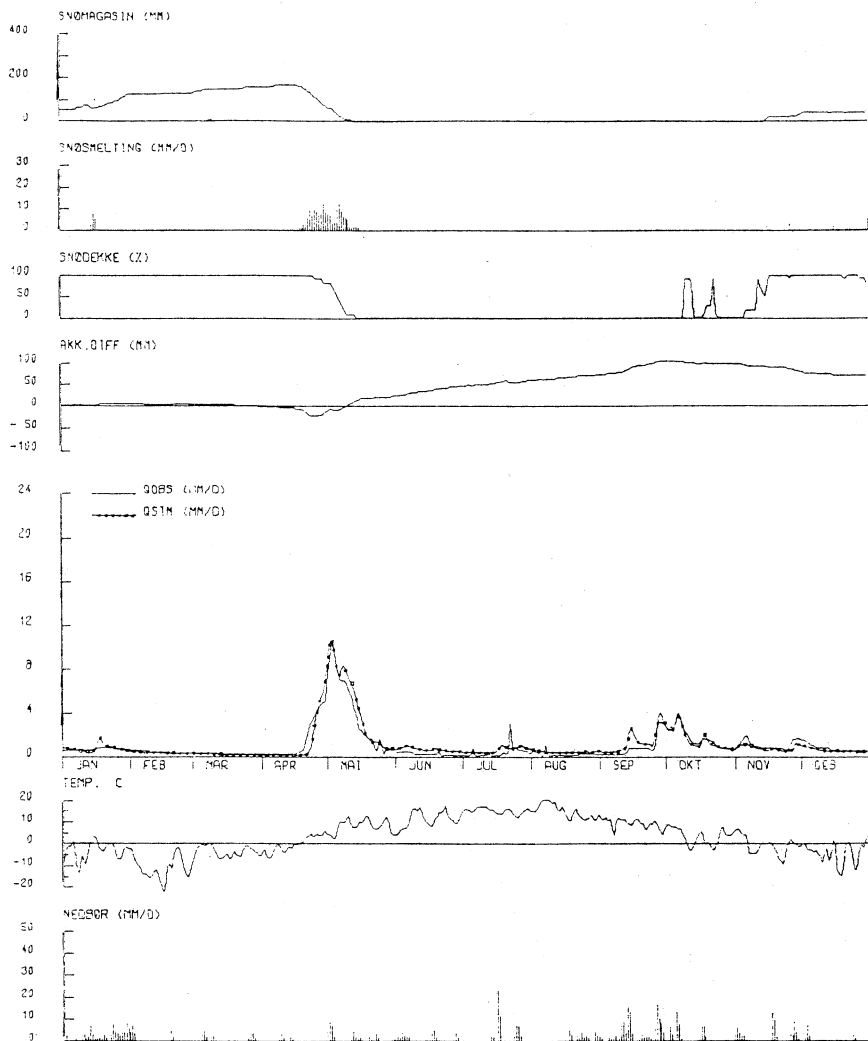
Anvendelsen til simulering av lange avløpsserier i vassdrag med få eller ingen avløpsmålinger er foreløpig lite utprøvd her i landet, men noen få forsøk er gjort. I /4/ er HBV-modellen brukt til å forlenge en avløpsserie, denne ble så brukt som grunnlag for dimensjonering av kraftverk.

I /5/ er vist hvordan SNSF-modellen kan benyttes til å simulere avløpsforholdene, også i vassdrag der avløpsobservasjoner mangler fullstendig. Dette er mulig ved å bestemme parametre i modellen ut fra regionale analyser. Her er også skissert hvordan slike avløpsdata kan brukes ved planlegging av småkraftverk. vurdering av senkningstiltak, konsekvenser av uttak for jordbruksvanning og konsekvenser for vassføringsforholdene i vassdraget. Eksempel på simuleringer med HBV- og SNSF-modellen er vist på fig. 3 og 4.

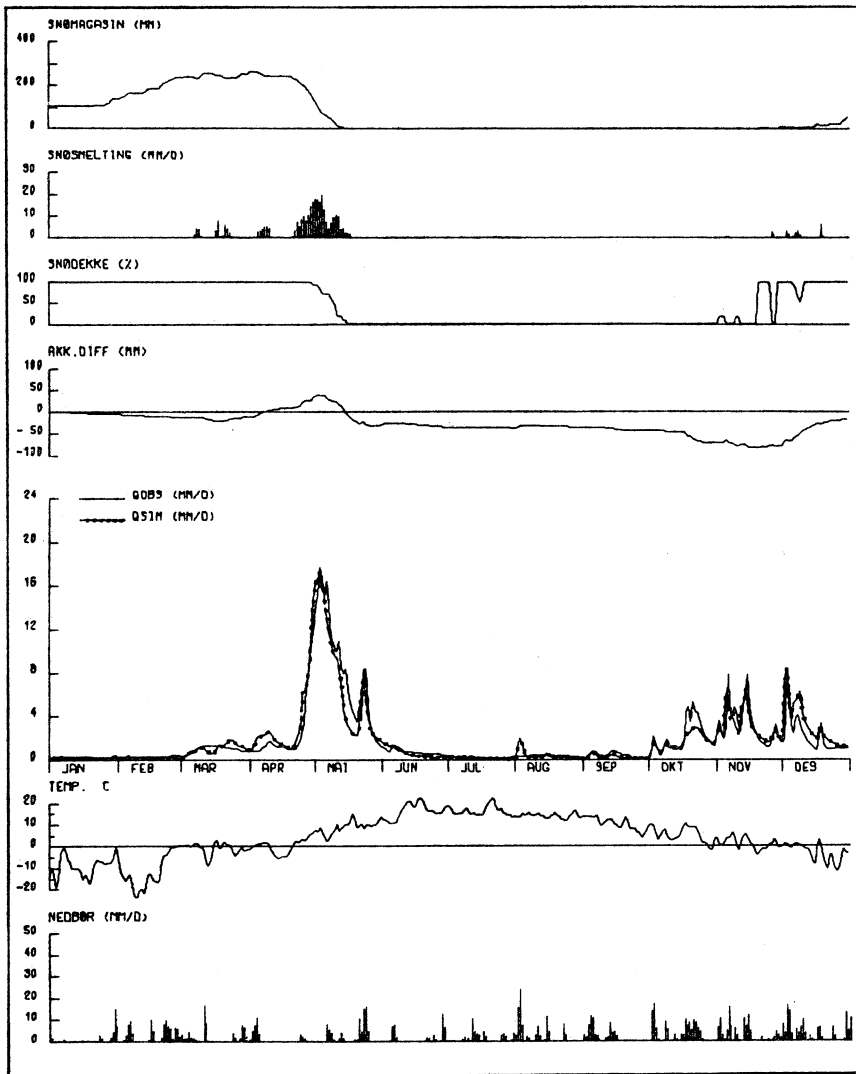
410

HBV3

AR 1975



Figur 3. Eksempel på simulering med HBV-modellen i Flisavassdraget/ref. 3/



Hobølelv 1966. Kalibreringssimulering.

Figur 4. Eksempel på simulering med SNSF-modellen i Hobølelva /ref. 5/

## REFERANSER:

- /1/ *Bergström, S.:* Development and Application of a Conceptual Runoff Model for Scandinavian Catchments. SMHI Rapporter nr. RHO7, 1976.
- /2/ *Lundquist, D.:* Simulering av det hydrologiske kretsløp. Erfaringer fra Birkenesfeltet. SNSF-prosjektet IR 23/76, 1976.
- /3/ *Wingård, B., Sæltbun, N. R., Aam, S. & Killingtveit, Å.:* Hydrologiske modeller for tilsigsprognoser og kraftverksdrift. Hydrologisk Avdeling — EFI — Institutt for Vassbygging, NTH. Trondheim 1978.
- /4/ *Fossdal, M.:* Modelltilpasning og utvidelse av dataserien for Steinlandsvatn. Rapport fra Hydrologisk Avdeling, Oslo 1976.
- /5/ *Lundquist, D.:* Simulering av avløpsserie for Rakkestadelva. Et eksempel på anvendelse av en nedbør-avløpsmodell for bruksanalyse i et vassdrag. Norsk Hydrologisk Komité, rapport 2, Oslo 1979.