# Modellering av hydrologiske prosesser med høy oppløsning i tid og rom

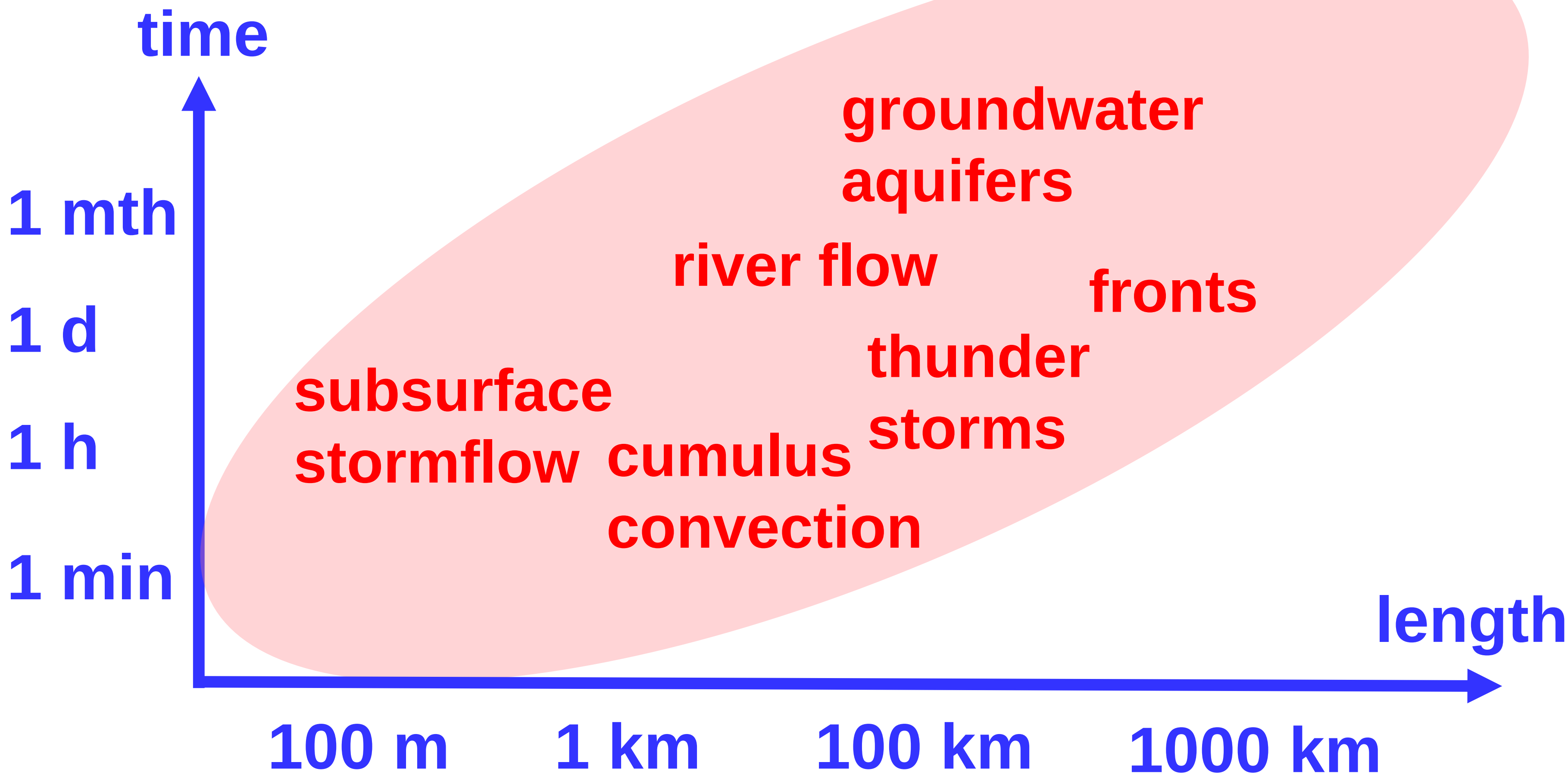
Stein Beldring
Norges vassdrags- og energidirektorat

# Hvorfor høy oppløsning i tid og rom?

- Modellens skala må gi en realistisk beskrivelse av prosessenes variasjon i tid og rom
- I nedbørfelt mindre enn ~$10^2$ $km^2$ er reaksjonstiden i vassdraget med elver og innsjøer og det omkring-liggende terrenget med vegetasjon, løsmasser og bergrunn mindre enn 1 døgn
- Den hydrologiske modellen må benytte tidsskritt som er kortere enn 1 døgn, for eksempel 1 time
- De meteorologiske dataene som driver den hydrologiske modellen må ha samme tidsoppløsning

**Skala – en karakteristisk lengde eller tid for en prosess: (1) utstrekning eller varighet, (2) periode, (3) korrelasjonslengde eller -tid**

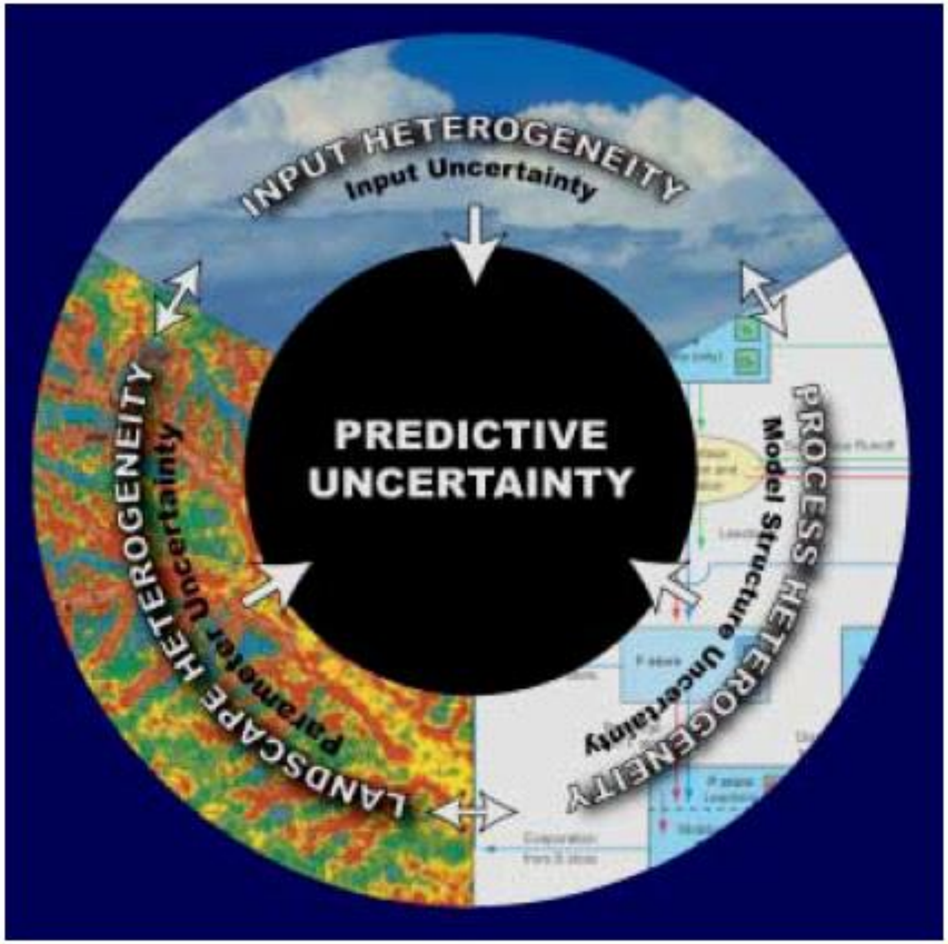
**Nyquist-frekvens = 1 / 2Δt**



# Hydrologiske modeller - feilkilder

Atmosfære

Landoverflate




Hydrologisk modell

- parametrisering
- skala

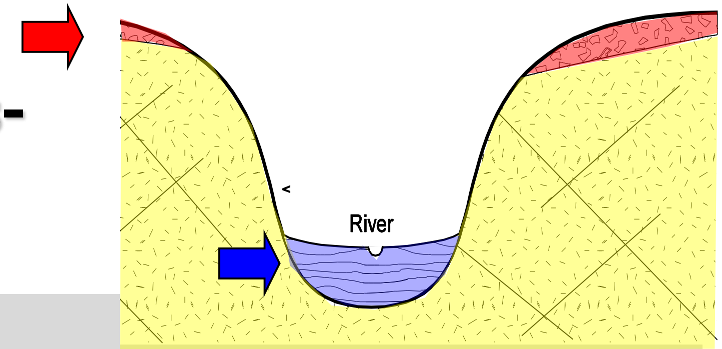
Hydrologiske data

Kilde: IAHS

# Grunnvannsmagasin i Norge består i hovedsak av:

- Små områder med fluviale og glasifluviale avsetninger med høy permeabilitet langs de største vassdragene og i lavlandet

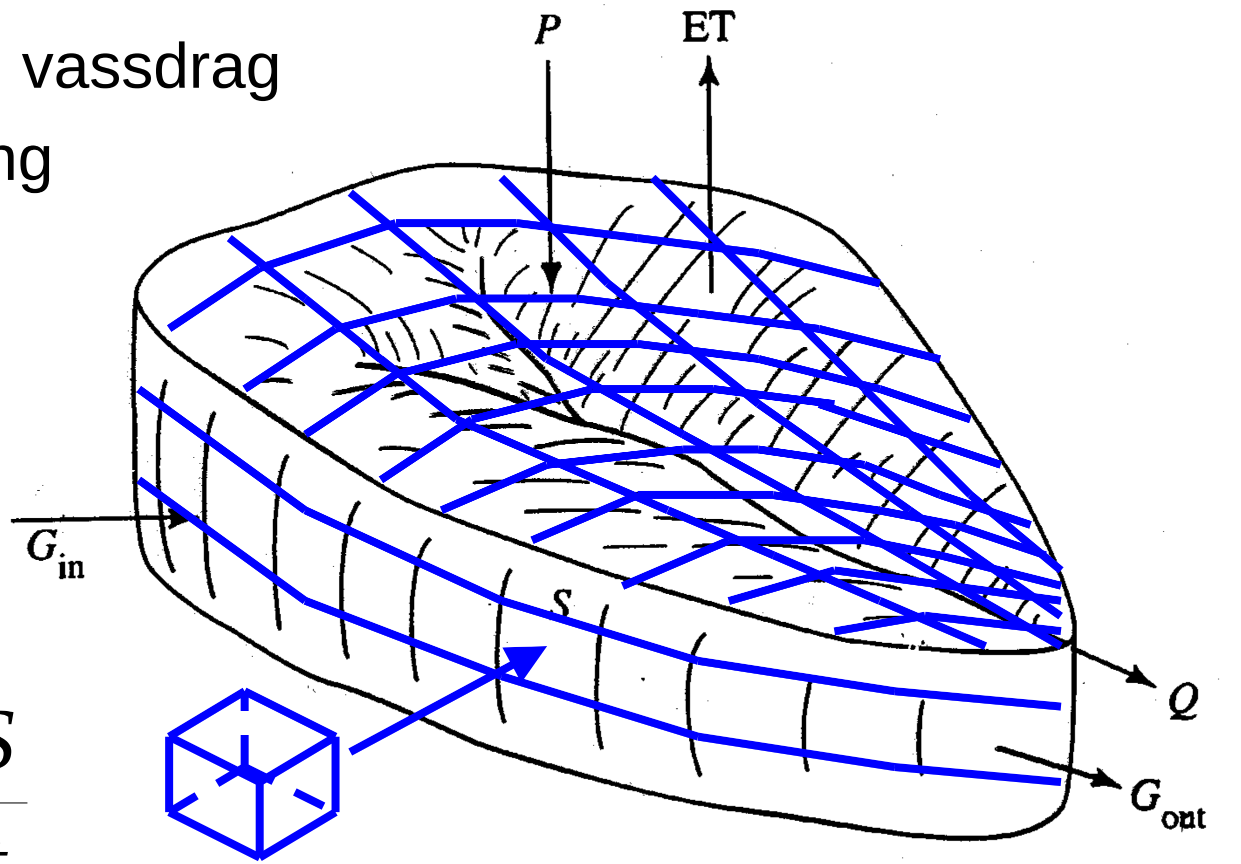
- Bunnmorene i skog- og fjellområder hvor grunnvann kontrolleres av nedbør
- Oppsprukket bergrunn bestående av magmatiske og metamorfe bergarter uten primær porøsitet




- Noen få store, regionale grunnvanns-magasin med høy porøsitet

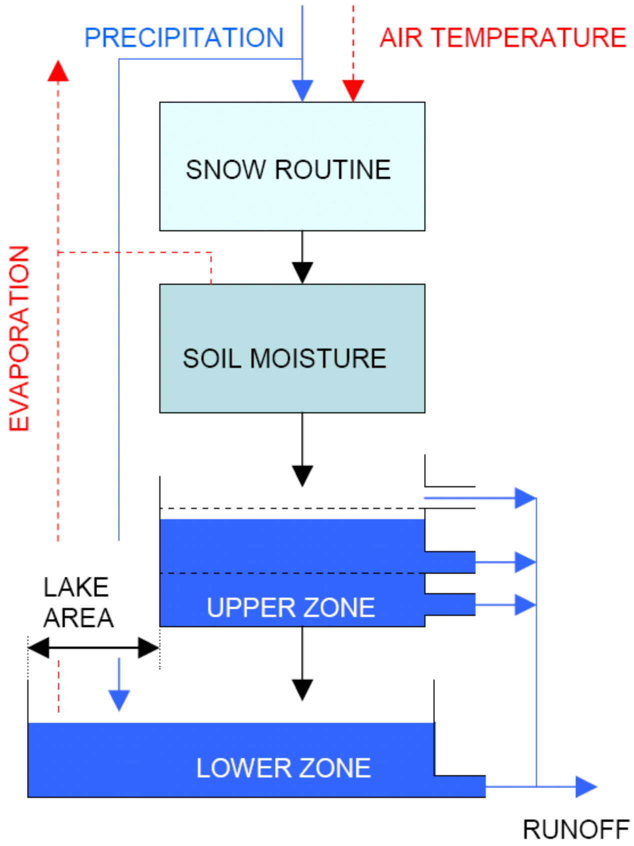
- P nedbør
- ET fordampning og transpirasjon
- G grunnvann
- Q vannføring i vassdrag
- S magasinering

$$P + G_{in} = Q + G_{out} + ET + \Delta S$$




$$i - q = \frac{dS}{dt}$$

# The HBV-model –
# A Lumped Precipitation-Runoff model



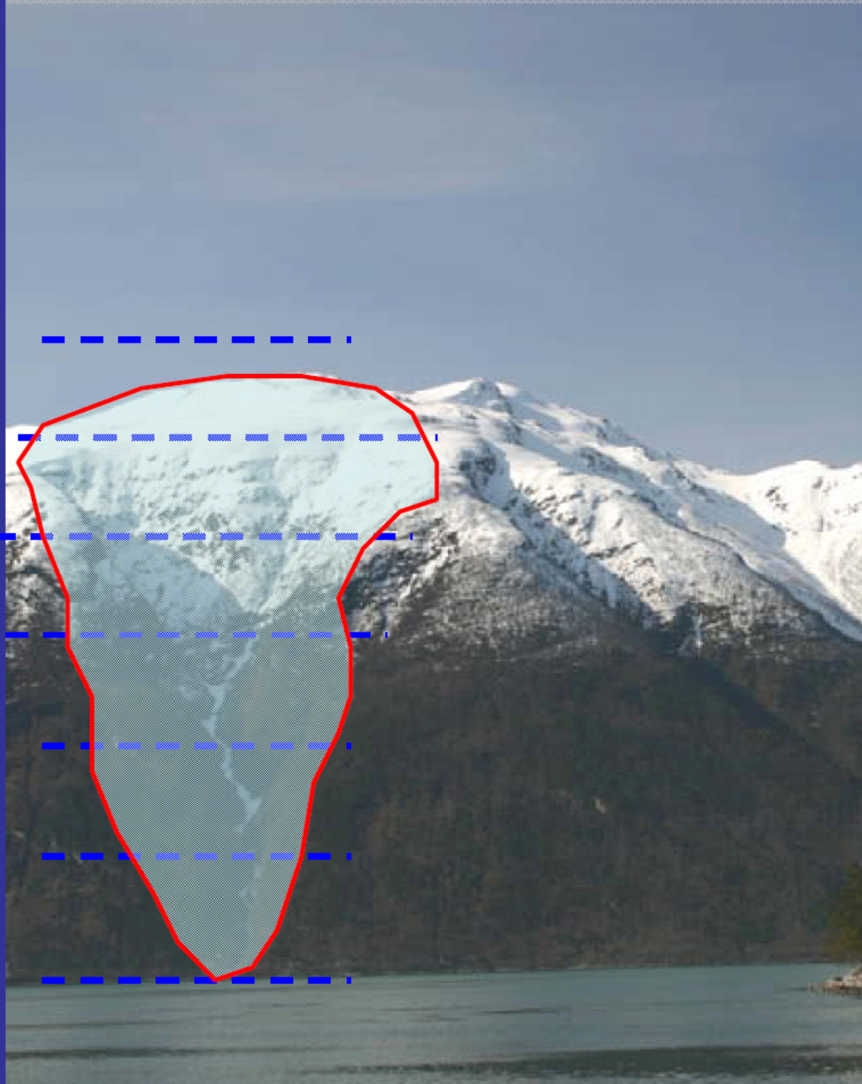

**HBV** is an acronym formed from **H**ydrologiske **B**yrån avdeling för **V**attenbalans at SMHI, Sweden

The model structure was made by Sten Bergstrøm,

Swedish Meteorological and Hydrological Institute

The model is extensively used for making runoff/inflow forecasts to hydropower systems in Norway, Sweden and Finland, and many other countries in Europe (and outside)

# Snow routine must consider the effect of topography



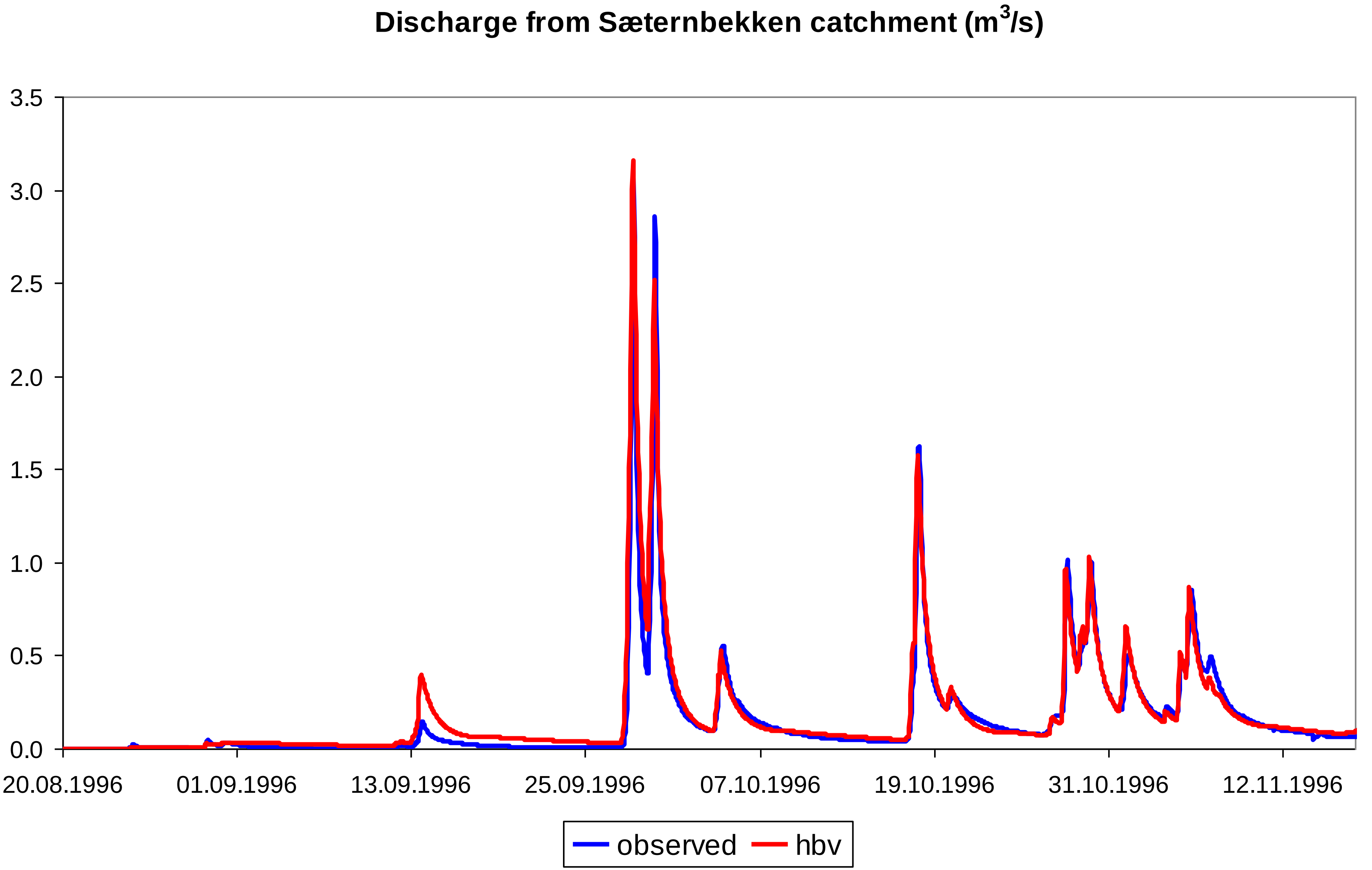
More snow accumulates at higher elevation due to higher precipitation and lower air temperature.

Precipitation type and amount is a function of elevation

Also snow melt varies with elevation

Therefore, we must divide the catchments into a number of zones (typically 5-10 zones) from the lowest to highest levels, and compute accumulation and melt of snow in each zone

# HBV-modell med 10 høydesoner og tidsoppløsning 1 time



# KinematicWave model *Beldring, 2002*

## Saturated subsurface flow

Hydraulic conductivity

$$K(u) = K_0\, e^{au}$$

Darcy's law

$$q(u) = K(u) \sin\alpha$$

$$q(s) = \frac{K_0}{a} \sin\alpha\; e^{aD} \left(1 - e^{-as}\right)$$

Continuity equation

$$\frac{\partial q}{\partial l} + \varepsilon \frac{\partial s}{\partial t} = i$$

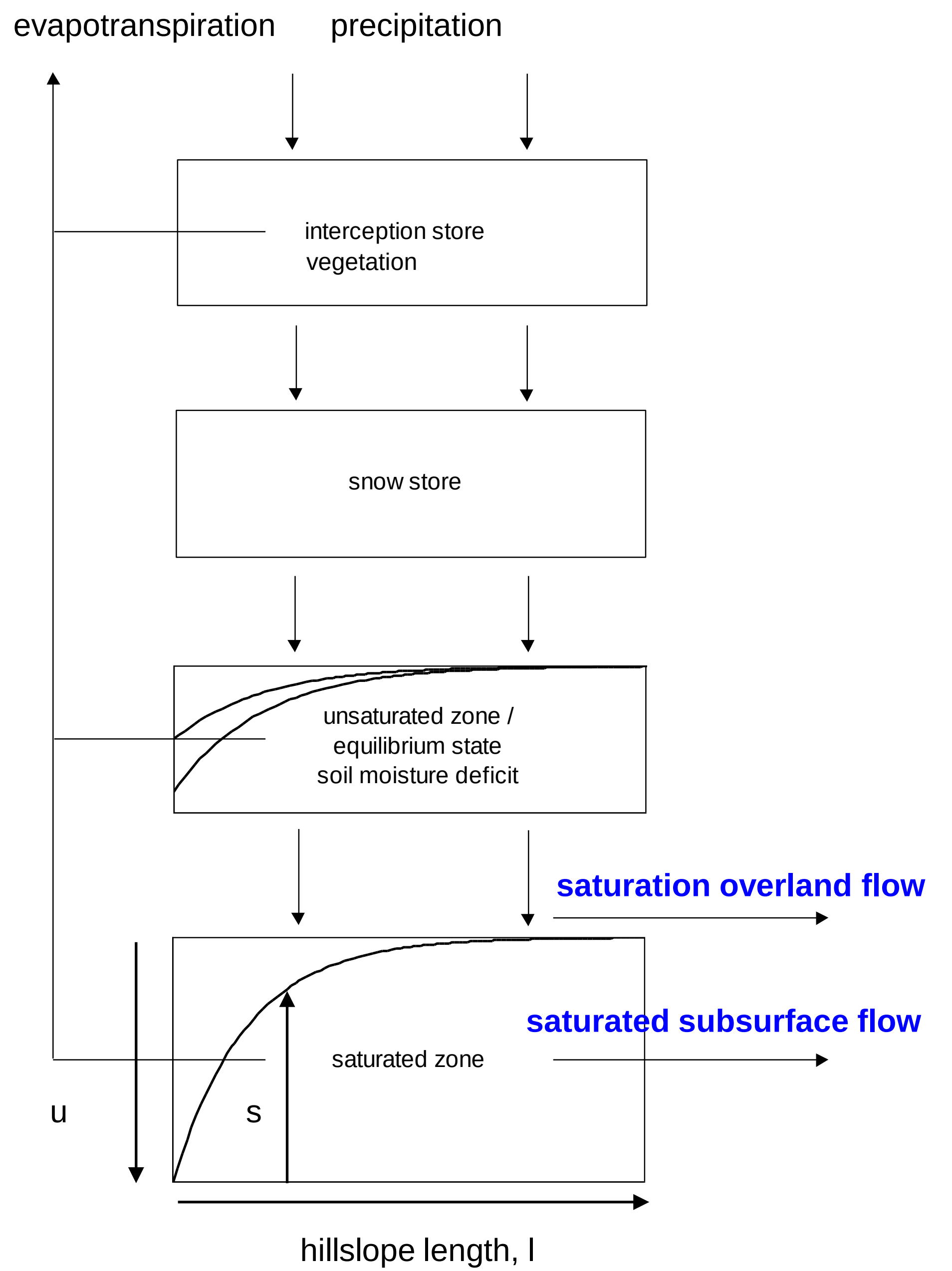
## Saturation overland flow

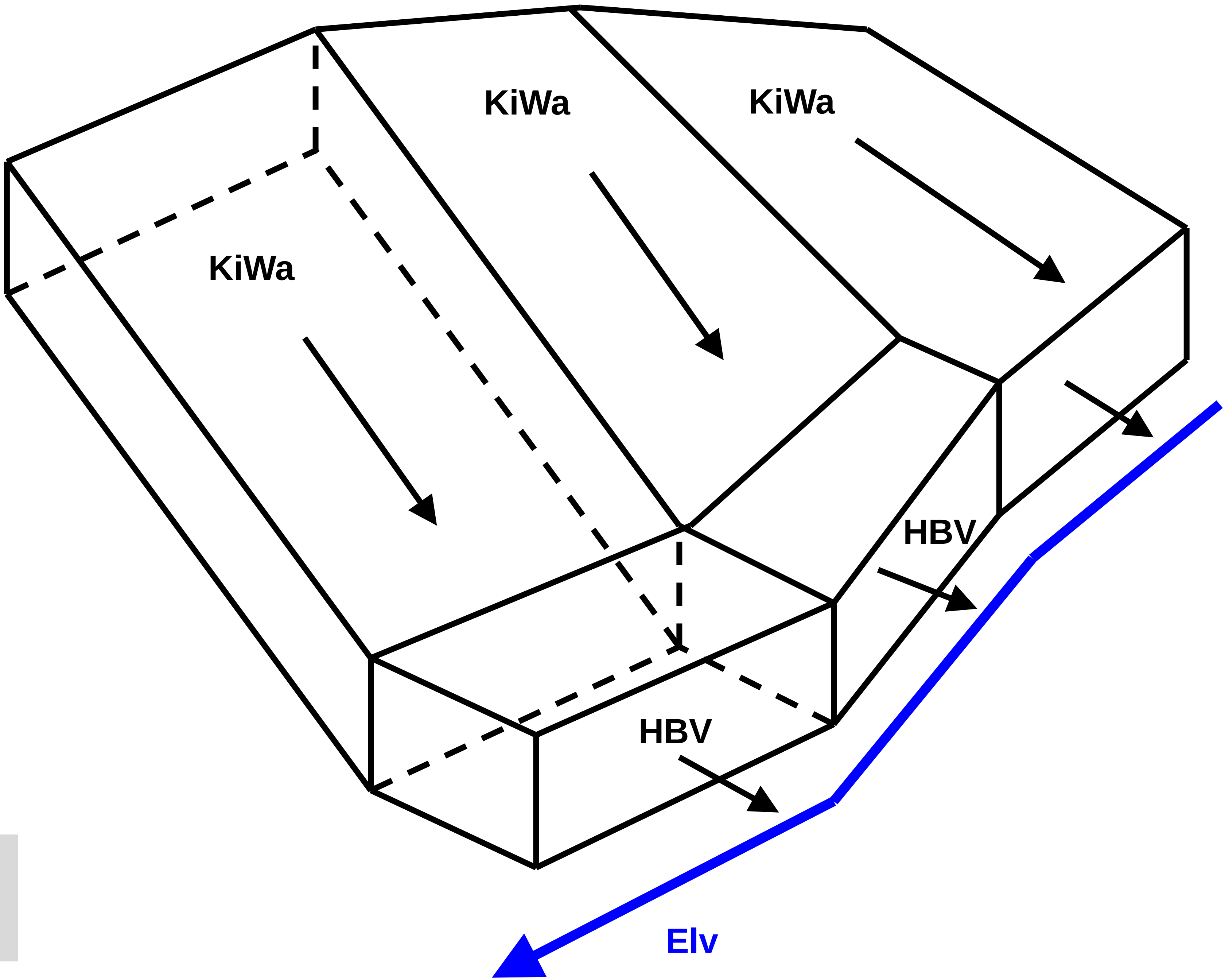
Overland flow flux law

$$p = \beta\, y^m$$

Continuity equation

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = i$$

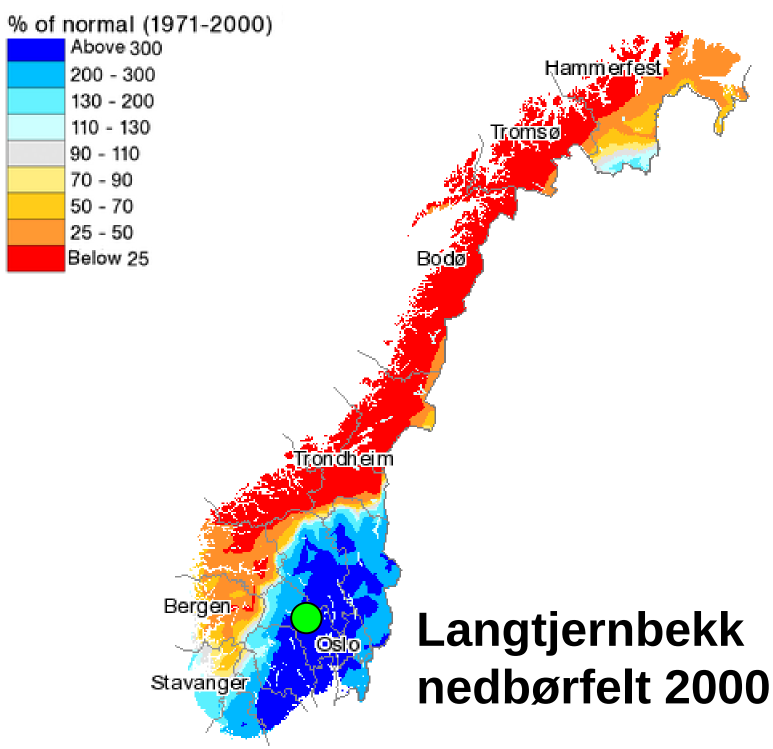



KiWa
KiWa
KiWa
HBV
HBV
Elv

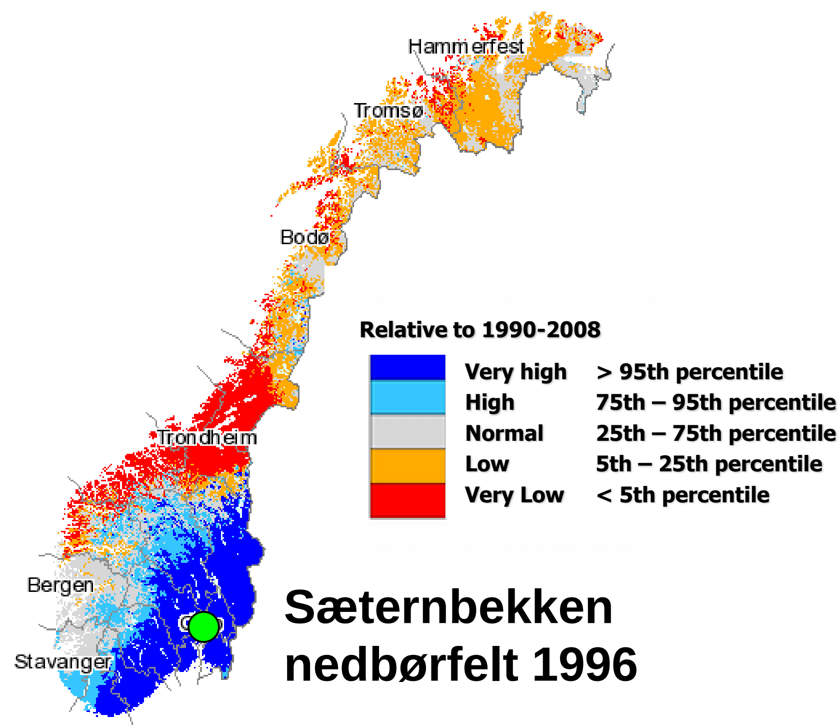
# *Romlig fordeltHBV-modell med 1 km² grid-ruter:*

Månedlig nedbørsum og daglig grunnvannsmagasin høsten 2000
i forhold til gjennomsnittlig verdi for samme måned og dato
**http://www.xgeo.no/**

Precipitation monthly deviation (11.2000)



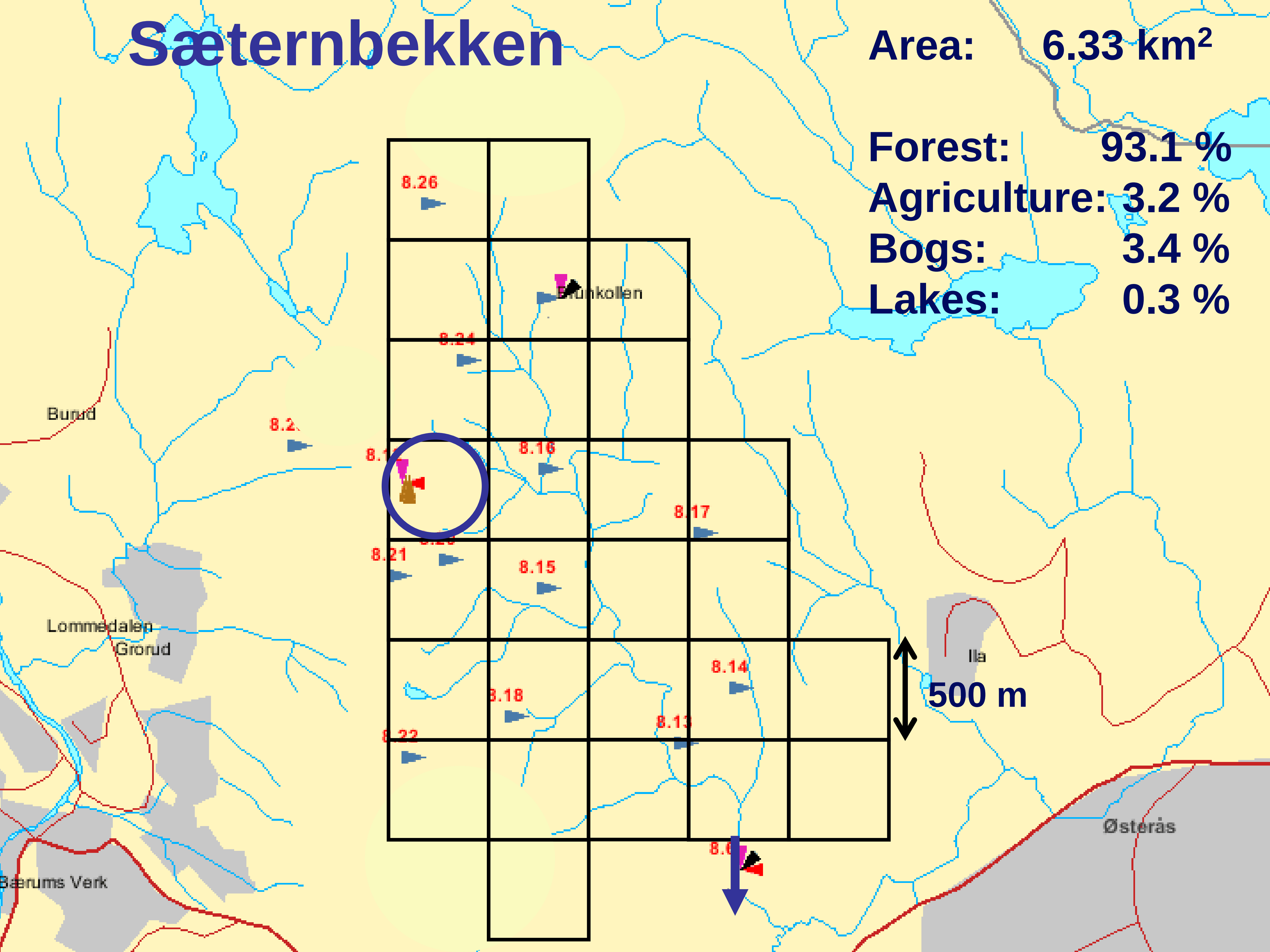

Groundwater level compared to normal (15.11.2000)



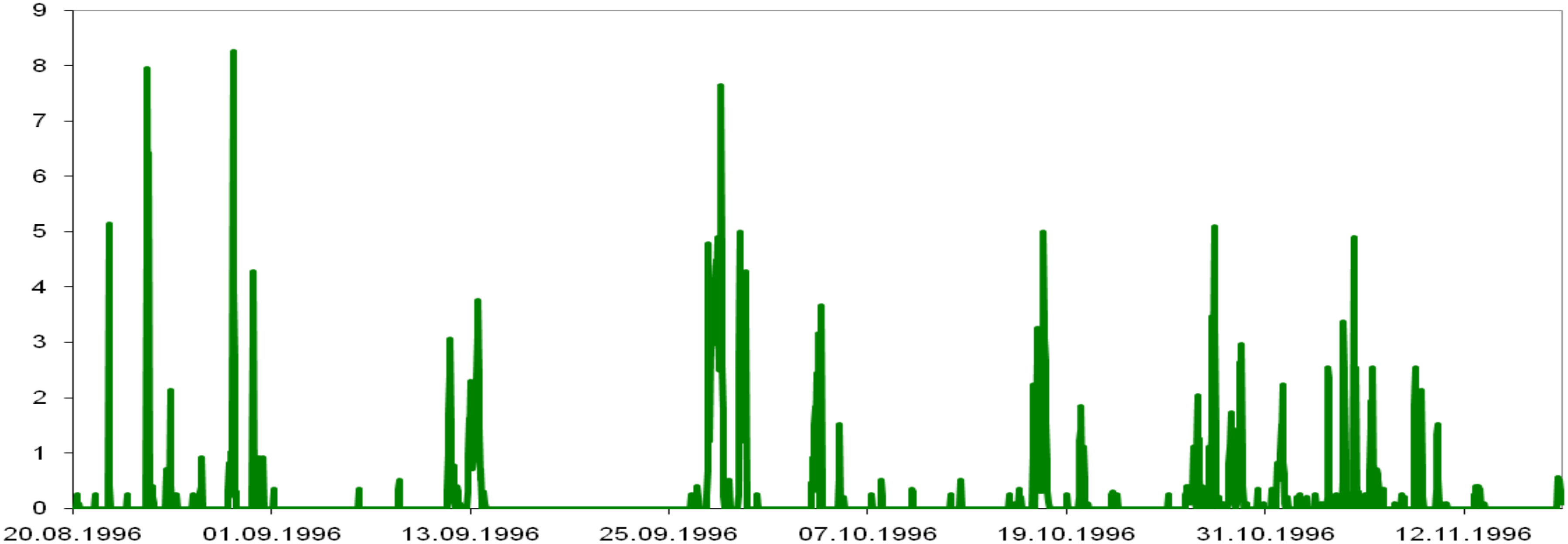
# Sæternbekken

**Area:** 6.33 km²

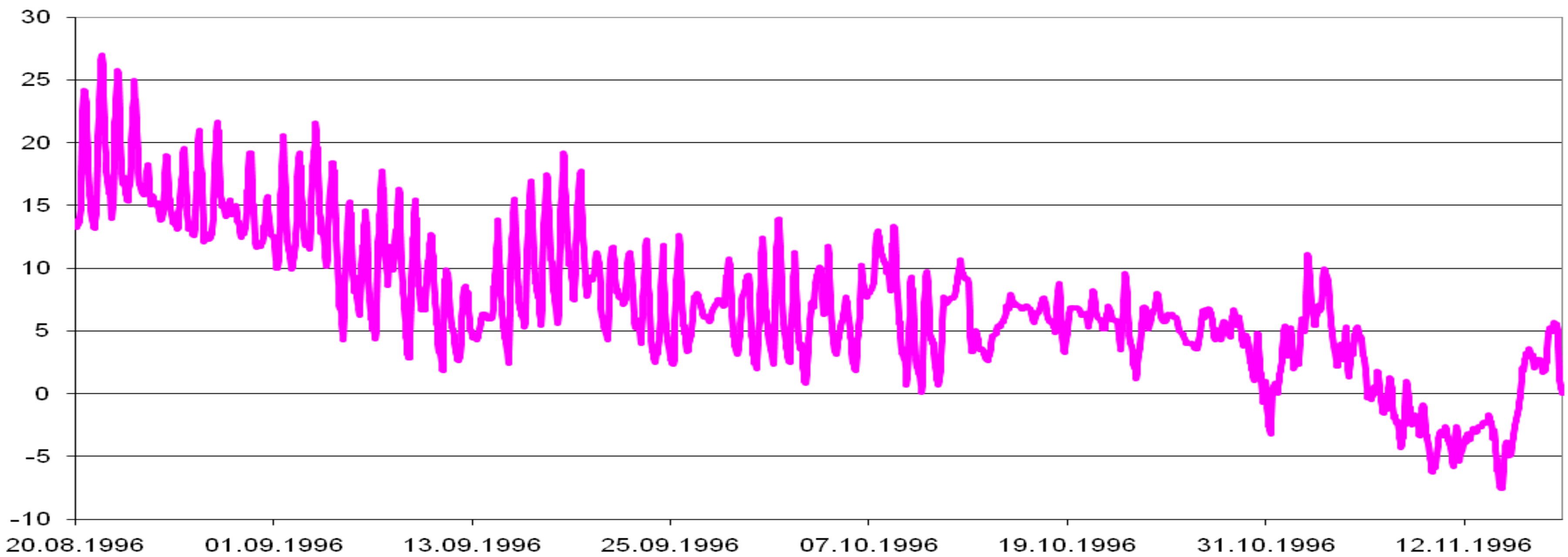
| | |
|---|---|
| **Forest:** | 93.1 % |
| **Agriculture:** | 3.2 % |
| **Bogs:** | 3.4 % |
| **Lakes:** | 0.3 % |



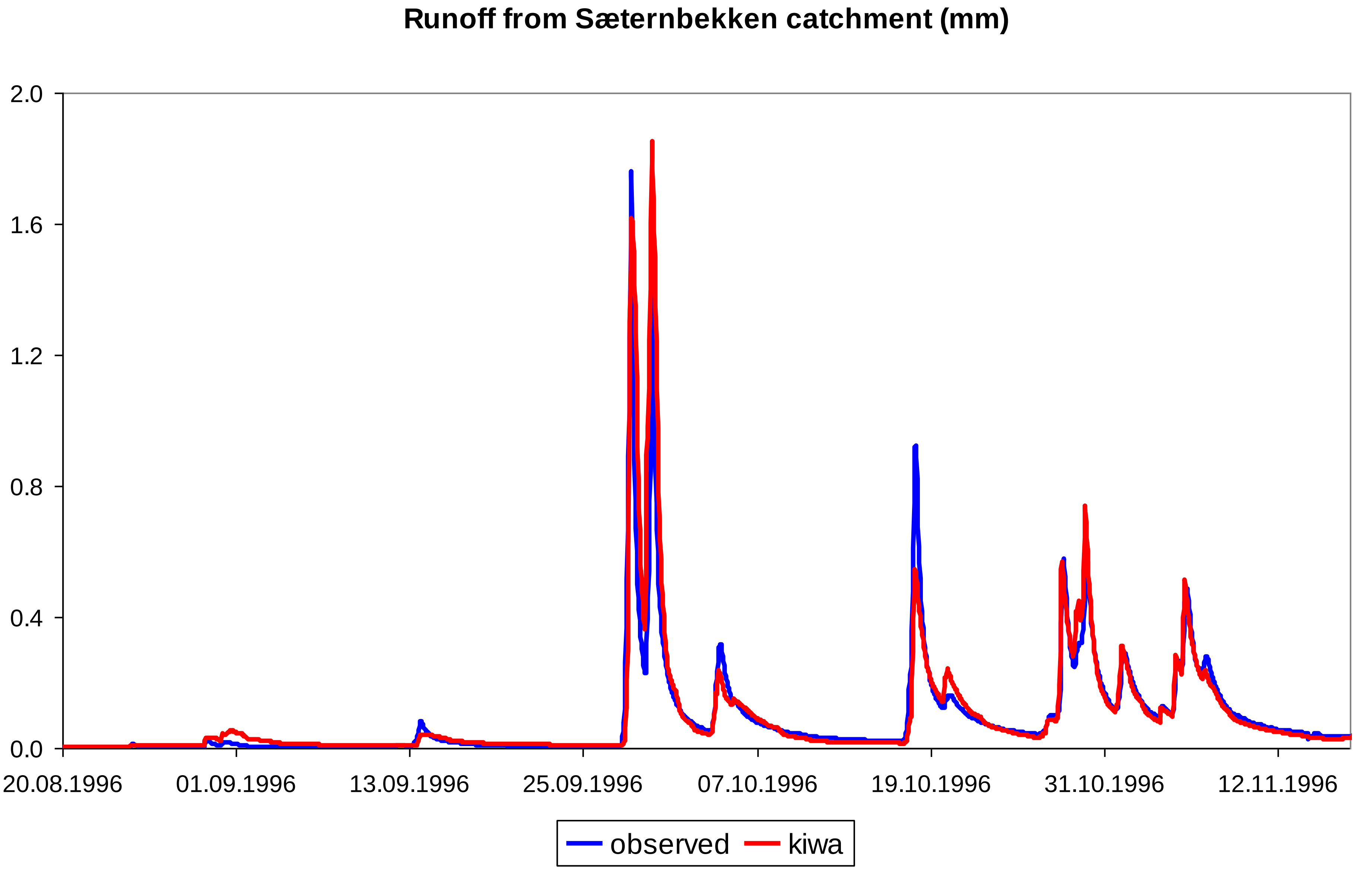
Precipitation for Sæternbekken catchment (mm)

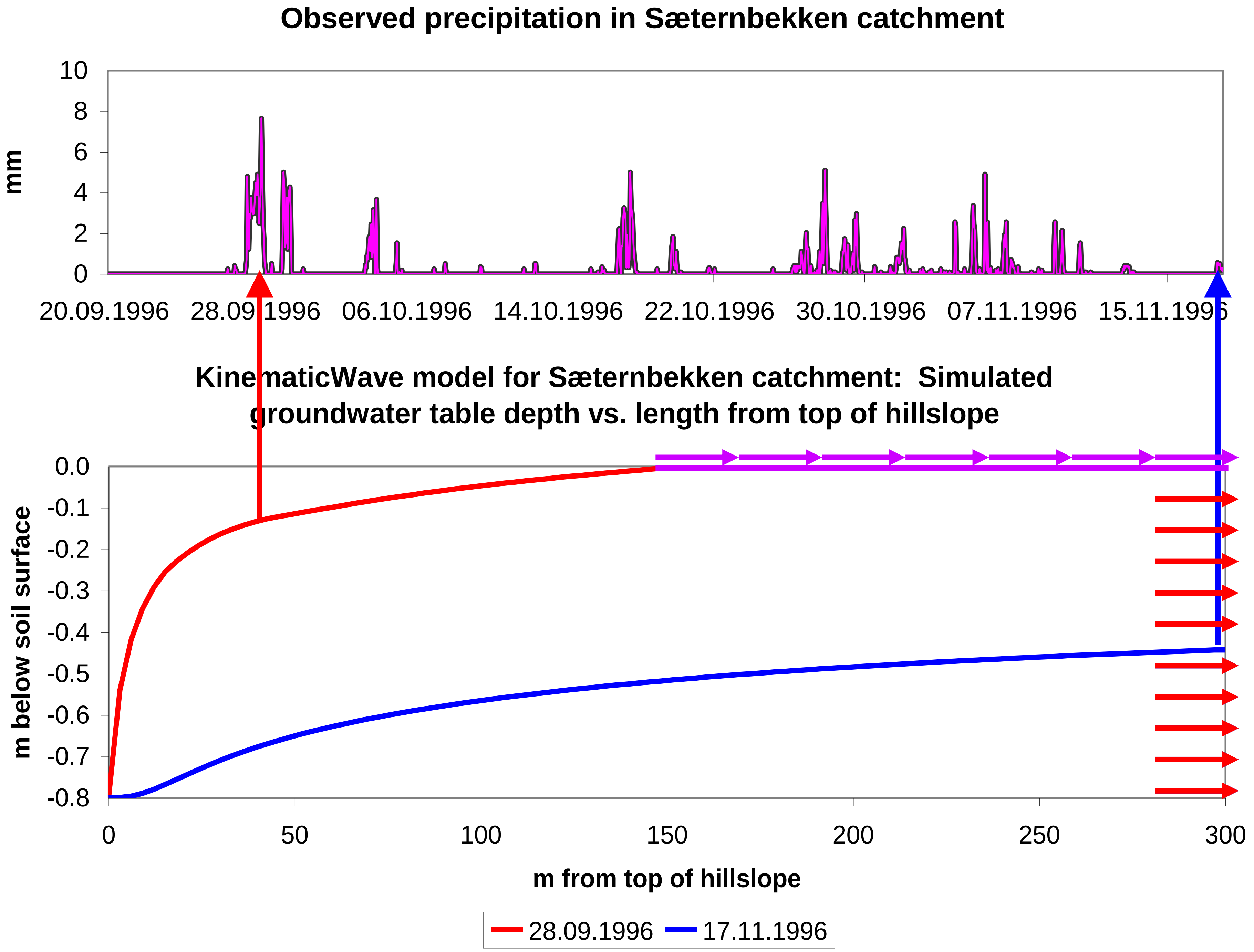



Temperature for Sæternbekken catchment (ºC)



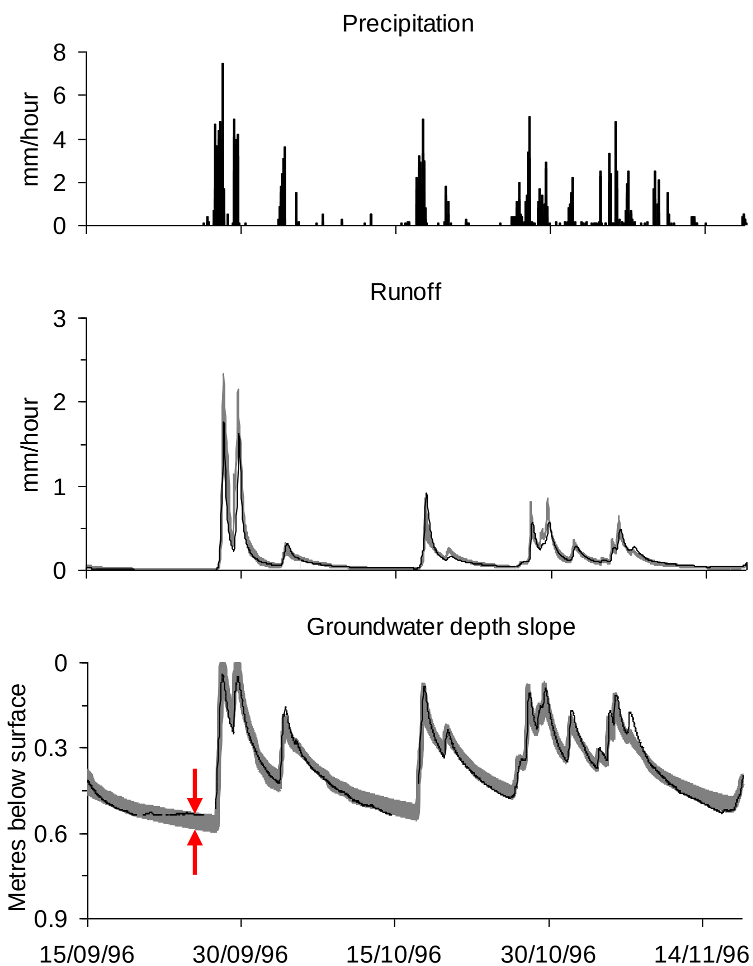
# Romlig fordelt kinematic-wave-algoritme med skråninger (hillslopes) på ca. 0.25 km² som beregnings-element, routing i elvenett og tidsoppløsning 1 time

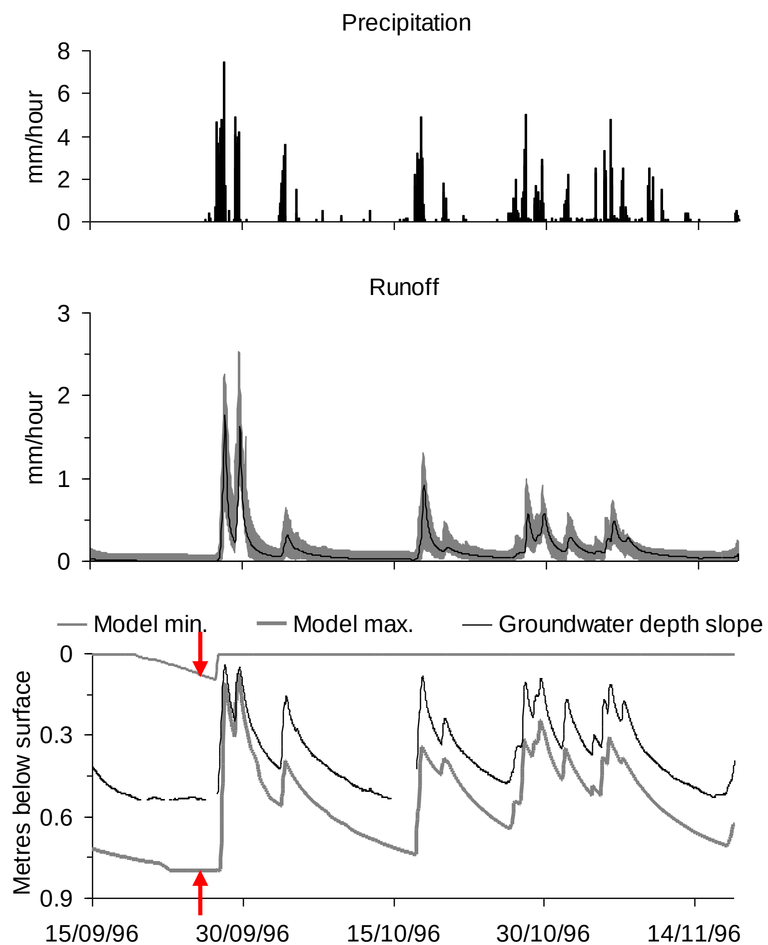




Observed precipitation in Sæternbekken catchment
mm
10
8
6
4
2
0
20.09.1996
28.09.1996
06.10.1996
14.10.1996
22.10.1996
30.10.1996
07.11.1996
15.11.1996
KinematicWave model for Sæternbekken catchment: Simulated groundwater table depth vs. length from top of hillslope
m below soil surface
0.0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
-0.5
-0.6
-0.7
-0.8
0
50
100
150
200
250
300
m from top of hillslope
28.09.1996
17.11.1996

# KinematicWave model with hourly time step for Sæternbekken catchment



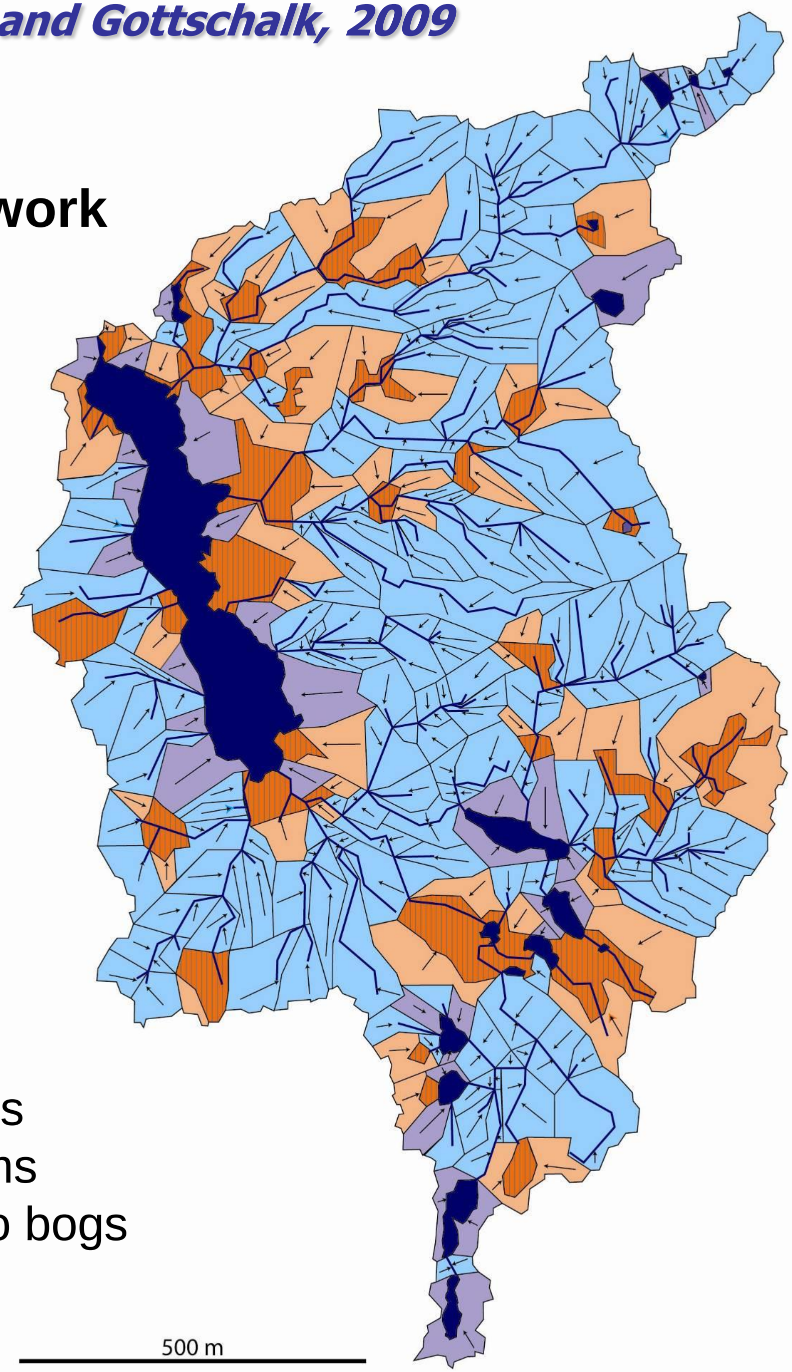




**Multi-objective calibration Runoff and groundwater**

**Single-objective calibration Runoff**

*Source: Auterives, Lange, Leblois, Beldring and Gottschalk, 2009*

# Langtjernbekk catchment
# Landscape elements and stream network

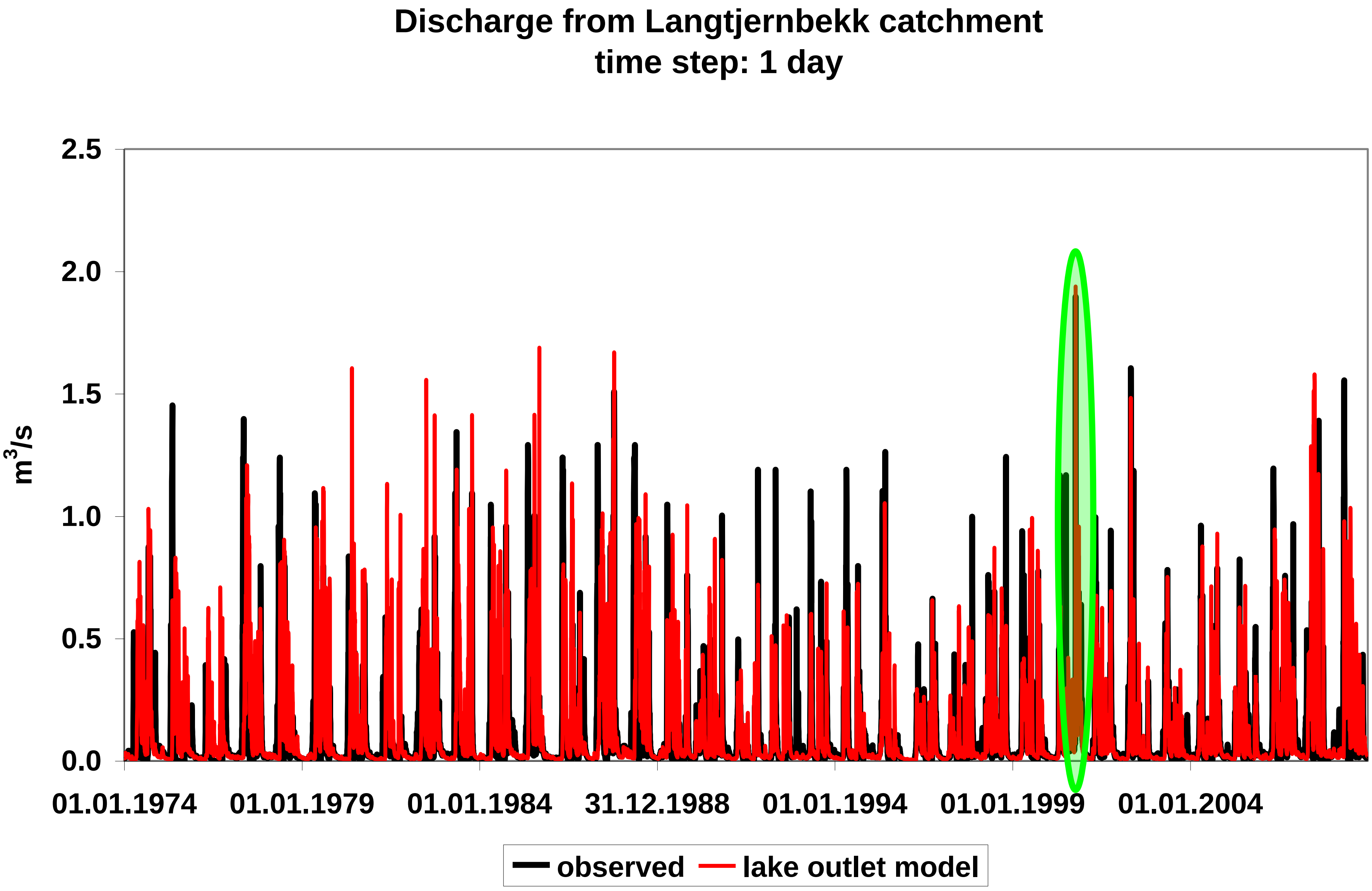



**Area:** **4.81 km²**

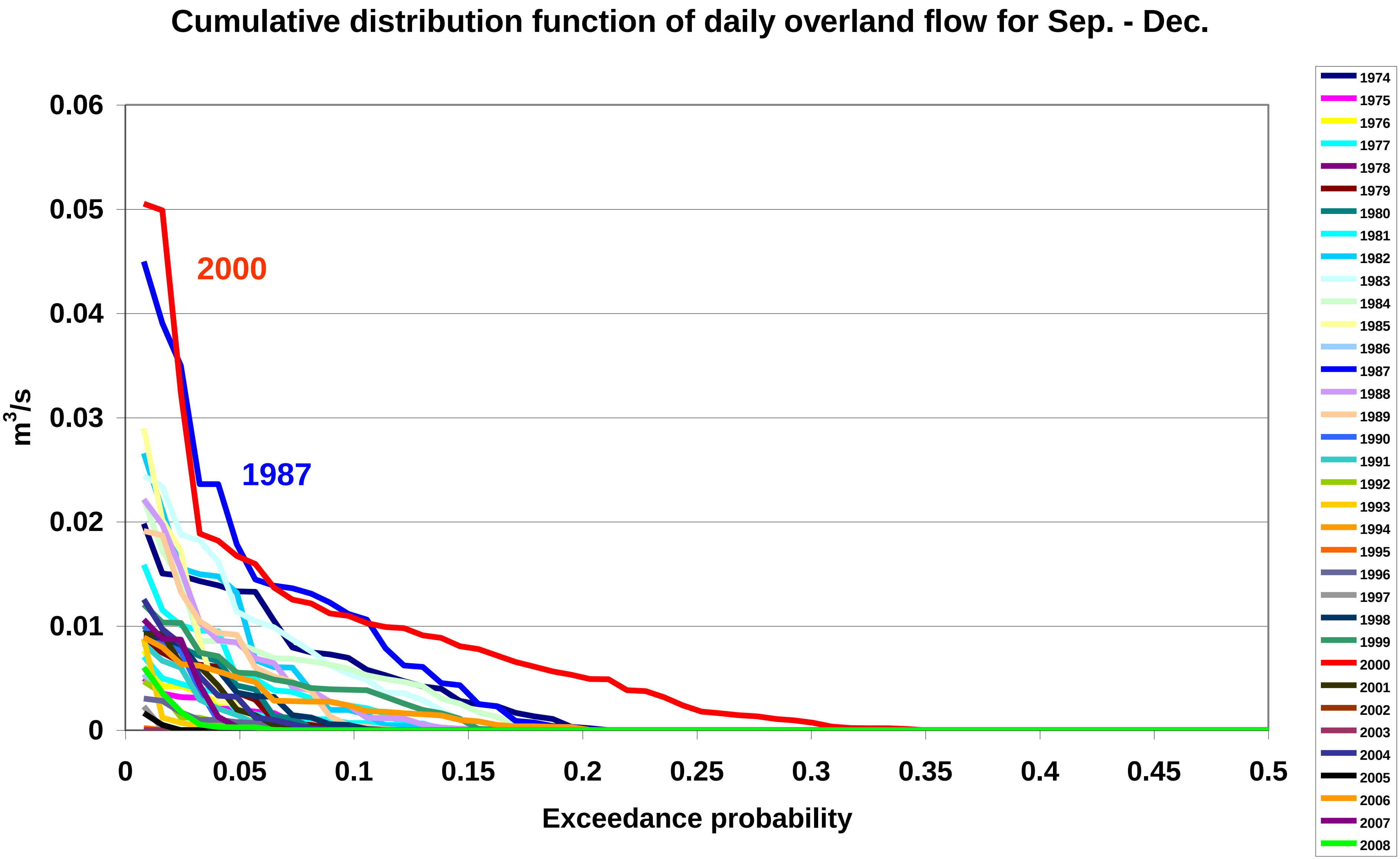
**Forest:** **87.3 %**
**Bogs:** **5.8 %**
**Lakes:** **6.9 %**

**Hillslopes: Kinematic Wave**
**Bogs: HBV**
**Dark blue :** lakes
**Purple :** KiWa discharging into lakes
**Blue :** KiWa discharging into streams
**Light brown:** KiWa discharging into bogs
**Dark brown :** HBV - bogs

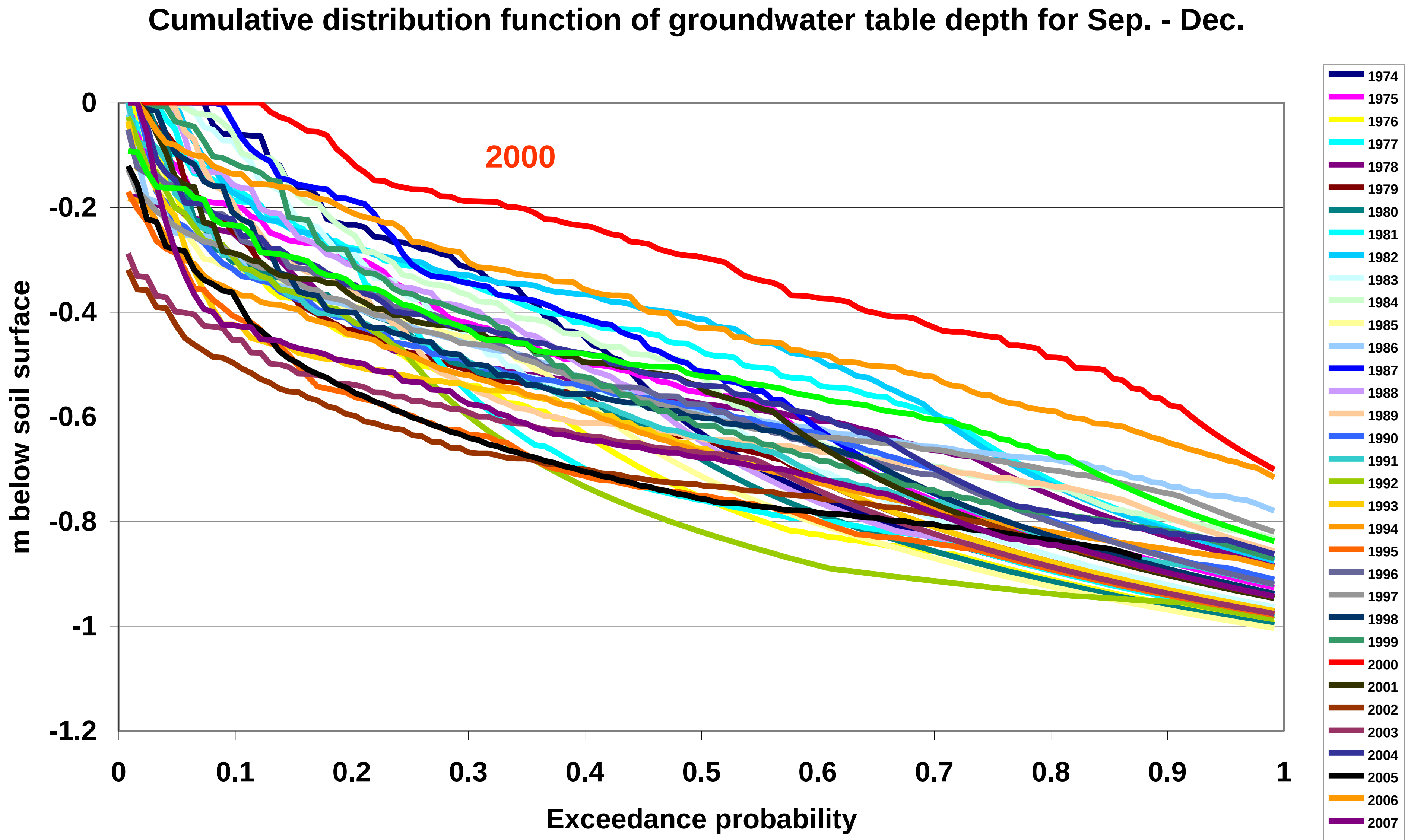
# KiWa model for Langtjernbekk catchment



# KiWa model for Langtjernbekk catchment



# KiWa model algorithm for Langtjernbekk catchment



# Skala i rom og tid er viktig ved valg av modellstruktur og data

- Vannføring fra små nedbørfelt blir bedre beskrevet med hydrologiske modeller med fin tidsoppløsning
- Romlig diskretisering av modellens beregningselement har betydning for detaljeringsgrad i beskrivelse av prosesser
- Algoritmene som benyttes i den hydrologiske modellen må velges etter formål og behov – modellen må virke godt av de riktige grunnene
- Modellens oppløsning i tid og rom må ta hensyn til skala i de dominerererende prosessene
- Prosess-skala, data-skala og modell-skala må være i overensstemmelse

# Takk!