



UTVIDELSE AV AVLÖPSSERIEN FOR
STEINSLANDSVATN VED HJELP AV
EN DETERMINISTISK MODELL

RAPPORT NR. 6-77

VASSDRAGSDIREKTORATET
HYDROLOGISK AVDELING

OSLO APRIL 1977



UTVIDELSE AV AVLÖPSSERIEN FOR
STEINSLANDSVATN VED HJELP AV
EN DETERMINISTISK MODELL

Marit L. Fossdal

RAPPORT NR. 6-77

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

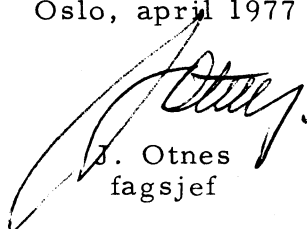
OSLO APRIL 1977

FORORD

På oppdrag fra Bergenshalvøens Kommunale Kraftselskap ble den observerte og korrigerede avløpsserien ved Steinslandsvatn utvidet ved hjelp av nedbør- og temperaturdata. Som hjelpemiddel ble en avløpsmodell som er utviklet ved Sveriges Meteorologiske och Hydrologiske Institut benyttet.

Grunnlagsmaterialet for avløpsserien ble fremskaffet av oppdragsgiveren. De meteorologiske dataene er tatt ut fra arkivene til Meteorologisk Institutt i Oslo. Modellen ble omprogrammert til og kjørt på NVE's regneanlegg.

Oslo, april 1977



J. Otnes
fagsjef

	INNHold	Side
1.	Innledning	3
2.	Beskrivelse av modellen	3
	2.1 Snørutine	3
	2.2 Jordfuktighetssone	5
	2.3 Øvre sone	6
	2.4 Nedre sone	6
	2.5 Tid-areal transformasjon	7
3.	Feltbeskrivelse	8
4.	Datagrunnlag	8
5.	Modelltilpasning	10
	5.1 Kriterier for modelltilpasningen	10
	5.2 Korreksjoner av nedbør og temperatur	10
	5.3 Parameterestimering	10
6.	Resultater	13
7.	Referanser	16

1. INNLEDNING

På oppdrag fra Bergenshalvøens Kommunale Kraftselskap ble avløps-serien for Steinslandsvatn utvidet ved en deterministisk modell. Mo-dellen som ble benyttet er HBV-3 modellen, som er utviklet ved Sveriges Meteorologiske och Hydrologiske Institut av Bergström, Jönsson og Fors-man (1) (2) (3).

Fremgangsmåten ved kalibrering av en deterministisk modell er først å skaffe tilveie alt tilgjengelig og relevant datamateriale, dernest å be-stemme de fysiske parametrene (f. eks. areal), og tilslutt å finne det beste estimatet for de parametrene som ikke kan bestemmes fysisk. Når modellen er tilfredsstillende kalibrert, kan den f. eks. benyttes til en utvidelse av dataserien ved hjelp av meteorologiske data. En kan også anvende modellen til å lage hydrologiske prognoser, eller å studere hvor-dan feltet reagerer på ekstreme meteorologiske forhold (4).

Lignende modelltilpasninger vil bli forsøkt på et større antall felt i nær fremtid. Også andre typer modeller (stokastiske modeller) vil bli for-søkt (5).

2. BESKRIVELSE AV MODELLEN

Modellen beregner døgnmidler for vannføring ut fra døgnverdier for ned-bør, døgnmidler for temperatur og månedsmidler for potensiell evapo-transpirasjon. Systemkart over modellen er vist i fig. 1. Modellen be-står av en snørutine, jordfuktighetssone, øvre sone, nedre sone og tid-areal transformasjon.

2.1 Snørutine

I snørutinen blir snø akkumulert og vann frigjort og overført til jord-fuktighetssonen. Lufttemperaturen benyttes som indeks for alle faktorer som påvirker snøsmeltingen. Videre benyttes lufttemperaturen som indikator på om nedbøren faller som regn eller som snø. Man bestemmer her en terskelverdi (T_{rs}) ved kalibreringen av modellen. Oppfangings-svikt ved nedbørmåleren gjør det nødvendig å bestemme en korreksjons-faktor (C_g) som snønedbøren multipliseres med.

Siden nedbørmengden som regel øker og temperaturen avtar med høyden

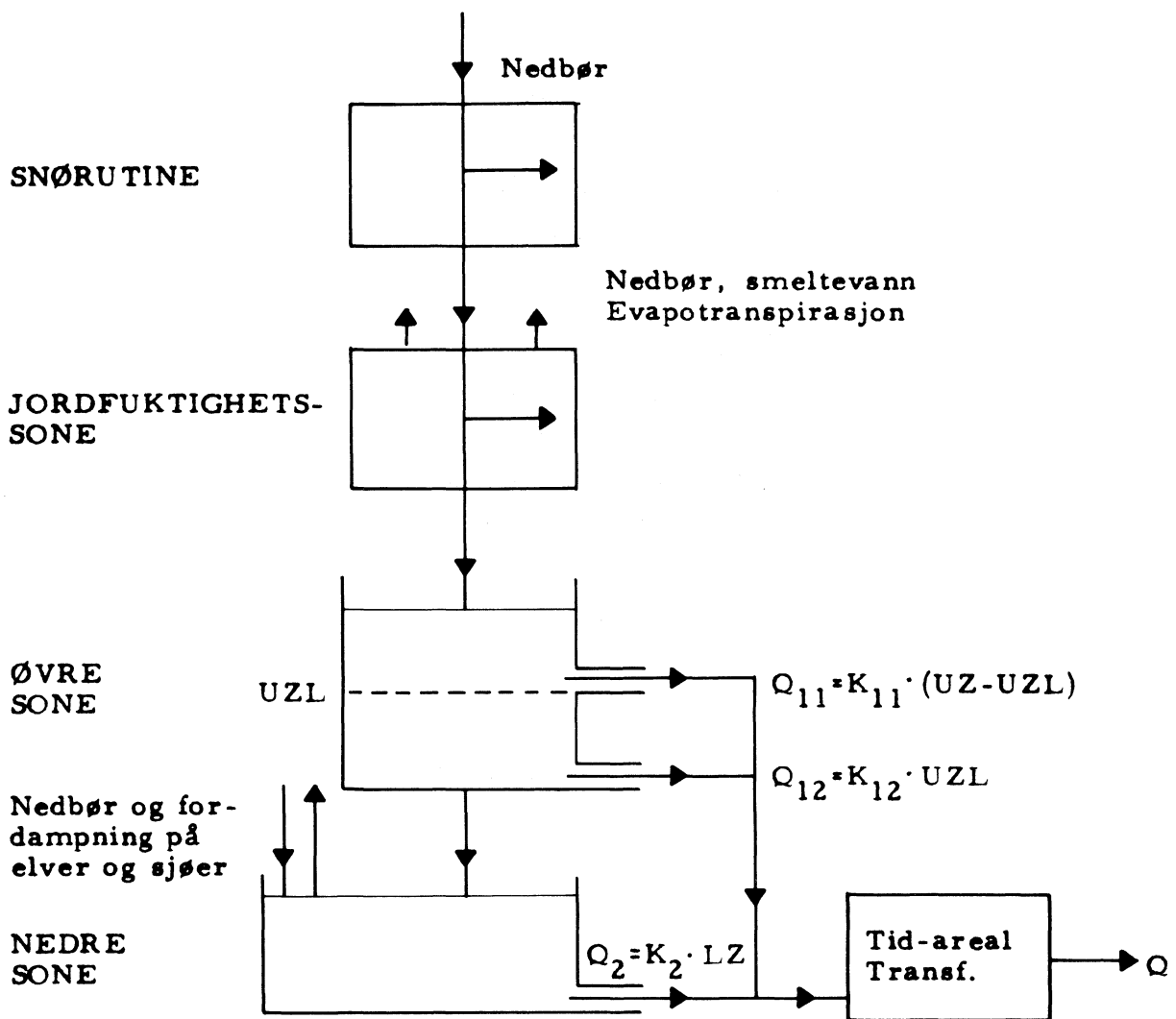


Fig. 1 Systemkart over modellen.

over havet, deles feltet inn i delfelt etter høydenivå. For hvert delfelt blir så nedbørmengden og temperaturen korrigert for høydedifferensene mellom delfeltet og måleapparatene.

Snøsmeltingen (M) blir beregnet ved en modifisert grad-dag-metode:

$$M = C_o (1 + C_{eff} \cdot \sum M) (T - T_o)$$

der

- C_o er startverdien for grad-dag-faktoren
- C_{eff} er gradienten til grad-dag-faktoren
- T er døgnlig middeltemperatur
- T_o er terskelverdi for smelting/frysing

Siden grad-dag-faktoren varierer over smelteperioden, skilles det mellom gamle og nye lag med snø. Snøsmeltingen beregnes separat for hvert lag

inntil grad-dag-faktoren til det enkelte lag er lik grad-dag-faktoren til laget under. Da slås lagene sammen.

Modellen antar at ikke all snøen som smelter renner av, men at en viss prosent av vannekvivalenten i snølagene (C_{wh}) samt en konstant lagringskapasitet i bunnen av det nederste snølaget (W_b), holdes tilbake i snøpakken.

Hvis snøsmeltingen avbrytes av kaldt vær, stanser smeltingen og smeltevannet i snøpakken antas å fryse etter ligningen på s. 4, og grad-dag-faktoren reduseres.

2.2 Jordfuktighetssone

Input i jordfuktighetssonen er regnedbør og smeltevann. En del av denne vannmengden forblir i jordfuktighetssonen, og forlater eventuelt sonen som evapotranspirasjon, mens resten passerer gjennom sonen og ned i øvre sone. Den delen av vannet som går til øvre sone (ΔUZ) bestemmes etter funksjonen (se også fig. 2):

$$\frac{\Delta UZ}{P} = \left(\frac{SM}{FC} \right)^{BETA}$$

der

P er regnedbør + smeltevann

SM er vanninnholdet i jordfuktighetssonen

FC er differensen mellom feltkapasitet og visnegrensen

$BETA$ er parameter for fordeling av nedbøren

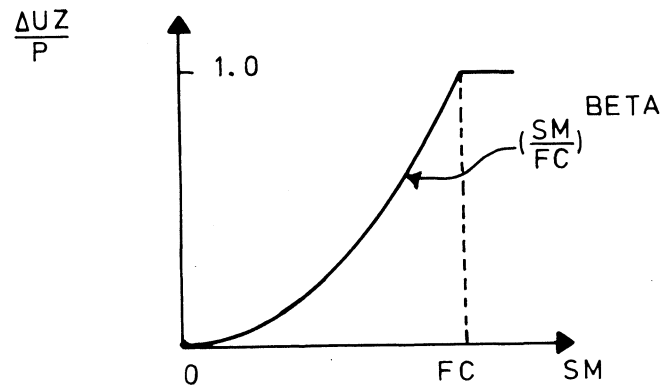


Fig. 2 Funksjonen som bestemmer hvor stor del av nedbøren som går til øvre sone.

Aktuell evapotranspirasjon (E_a) beregnes etter funksjonen (se også fig. 3):

$$E_a = \begin{cases} \frac{SM}{LP} \cdot E_p & \text{for } SM < LP \\ E_p & \text{for } SM \geq LP \end{cases}$$

der E_p er potensiell evapotranspirasjon

SM er vanninnholdet i jordfuktighetssonen

LP er terskelverdi for potensiell evapotranspirasjon

2.3 Øvre sone

Input i øvre sone er vann som infiltrerer fra jordfuktighetssonen. Fra øvre sone perkulerer vann ned til nedre sone med konstant hastighet (PERC) hvis det er tilgjengelig vann i sonen. Samtidig skjer det avrenning fra sonen etter hvor stort magasininnholdet er. I HBV-2-modellen (1) virket øvre sone som et lineært magasin, og avrenningen Q_1 bestemmes da ved funksjonen

$$Q_1 = K_1 \cdot UZ$$

der K_1 er tømmingskonstanten for øvre sone

UZ er magasininnholdet i øvre sone

For Steinslandsvatn ble det nødvendig å benytte HBV-3-modellen (3) der øvre magasin er delt i to lineære magasiner. Avrenningen er da gitt ved

$$\left. \begin{aligned} Q_{11} &= K_{11} \cdot (UZ - UZL) \\ Q_{12} &= K_{12} \cdot UZL \\ Q_1 &= Q_{11} + Q_{12} \end{aligned} \right\} \quad \text{for } UZ > UZL$$

$$\text{og} \quad Q_1 = K_{12} \cdot UZ \quad \text{for } UZ < UZL$$

der UZ er magasininnholdet i øvre sone

UZL er terskelverdi mellom rask og sein tømming av øvre sone

K_{11} er tømmingskonstant for magasinet over UZL

K_{12} er tømmingskonstant for magasinet under UZL

2.4 Nedre sone

Input i sonen er vann som perkulerer fra øvre sone, samt nedbør på sjøer og elver. Nedre sone antas å være et lineært magasin, og avrenningen fra sonen er da gitt ved funksjonen

$$Q_2 = K_2 \cdot LZ$$

der K_2 er tømmingskonstanten for nedre sone

LZ er magasininnholdet i nedre sone

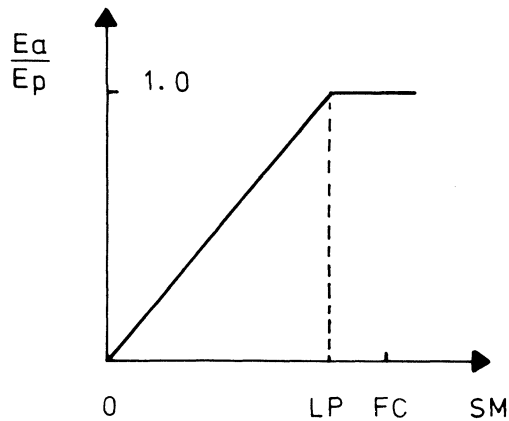


Fig. 3 Sammenheng mellom aktuell og potensiell evapotranspirasjon.

Fordampning skjer fra den del av sonen som representerer sjøer og elver.

2.5 Tid-areal transformasjon

For å tilpasse tidspunktet for flomtoppen benyttes en modifisert tid-areal transformasjon.

Den opprinnelige tid-areal transformasjonen kan anskueliggjøres i fig. 4.

For å ta hensyn til den effekt flom-hastigheter har på tid-areal transformasjonen, er grunnlinjen til triangelfunksjonen som filtrerer generert vannføring, avhengig av størrelsen på vannførings-verdiene. Det er uttrykt i denne funksjonen:

$$B = B_{\max} - C_{\text{route}} \cdot Q_g$$

der

B er grunnlinjen til triangelfunksjonen

$B_{\max}$ er maksimal lengde på grunnlinjen for lave vannføringer

C_{route} er endringen av B pr. vannføringsenhet

Q_g er generert vannføring

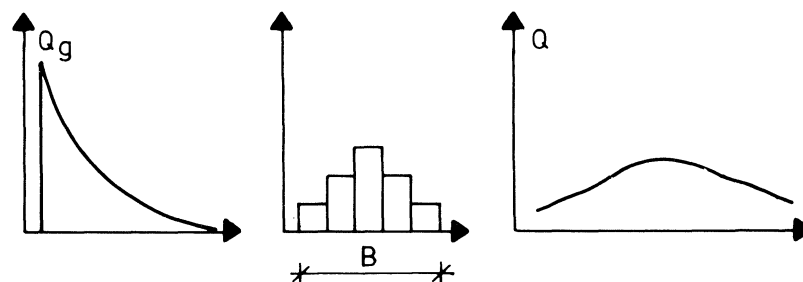


Fig. 4 Tid-areal transformasjon

3. FELTBESKRIVELSE

Feltet ligger i Stølsheimen som er en del av fjellområdet syd for ytre del av Sognefjorden (fig. 5). Arealet er 215 km^2 og strekker seg fra 117 m o. h. til 1333 m o. h. med en middelhøyde på ca. 900 m o. h. Feltet består hovedsakelig av snaufjell med noe løsavleiringer i dalbunnene mens områdene rundt Solrenningsvann skiller seg ut ved å ha mer sammenhengende og dypere løsavleiringer. De løsavleiringene som finnes i dalbunnen er hovedsaklig morene, skred- og forvittringsjord samt enkelte humusopphopninger. Vegetasjonen består hovedsaklig av bjørkeskog, vierkratt, lyng og gras under ca. 600 m o. h. og gras, vier, lyng, lav og mose over ca. 600 m o. h. Det finnes ikke dyrket mark i området, men en del gode sauebeiter og litt stølsdrift. Sjøprosenten er ca. 6 %.

4. DATAGRUNNLAG

Det finnes ingen nedbør eller temperaturstasjoner i feltet. Nedbørdata for tre stasjoner (5230 Modalen, 5217 Nesheim, 5222 Gullbrå) som alle ligger syd for feltet, ble korrelert med tilsigsdataene til Steinslandsvatn. Dataene for Gullbrå så ut til å være de mest representative og ble derfor benyttet i modellen. Denne stasjonen ligger 579 m o. h.

Det er få temperaturstasjoner i nærheten av feltet, og den nærmeste (5230 Modalen, 104 m o. h.) ble valgt.

Tilsigsdataene for feltet ble beregnet ved Bergenshalvøens Kommunale Kraftselskap. I enkelte perioder trekkes kvaliteten av dataene i tvil. Dette gjelder f. eks. dataene for februar-mars 1970. Fra 2. februar til 4. mars er vannføringen konstant lik $1,27 \text{ m}^3/\text{s}$. Siden temperaturen i denne perioden stort sett er mindre enn null, skjer avrenningen hovedsaklig fra grunnvannsmagasinet. Dette magasinet får i liten grad tilførsel av vann, og følgelig skulle både grunnvannsmagasinet og vannføringen avta med tiden.

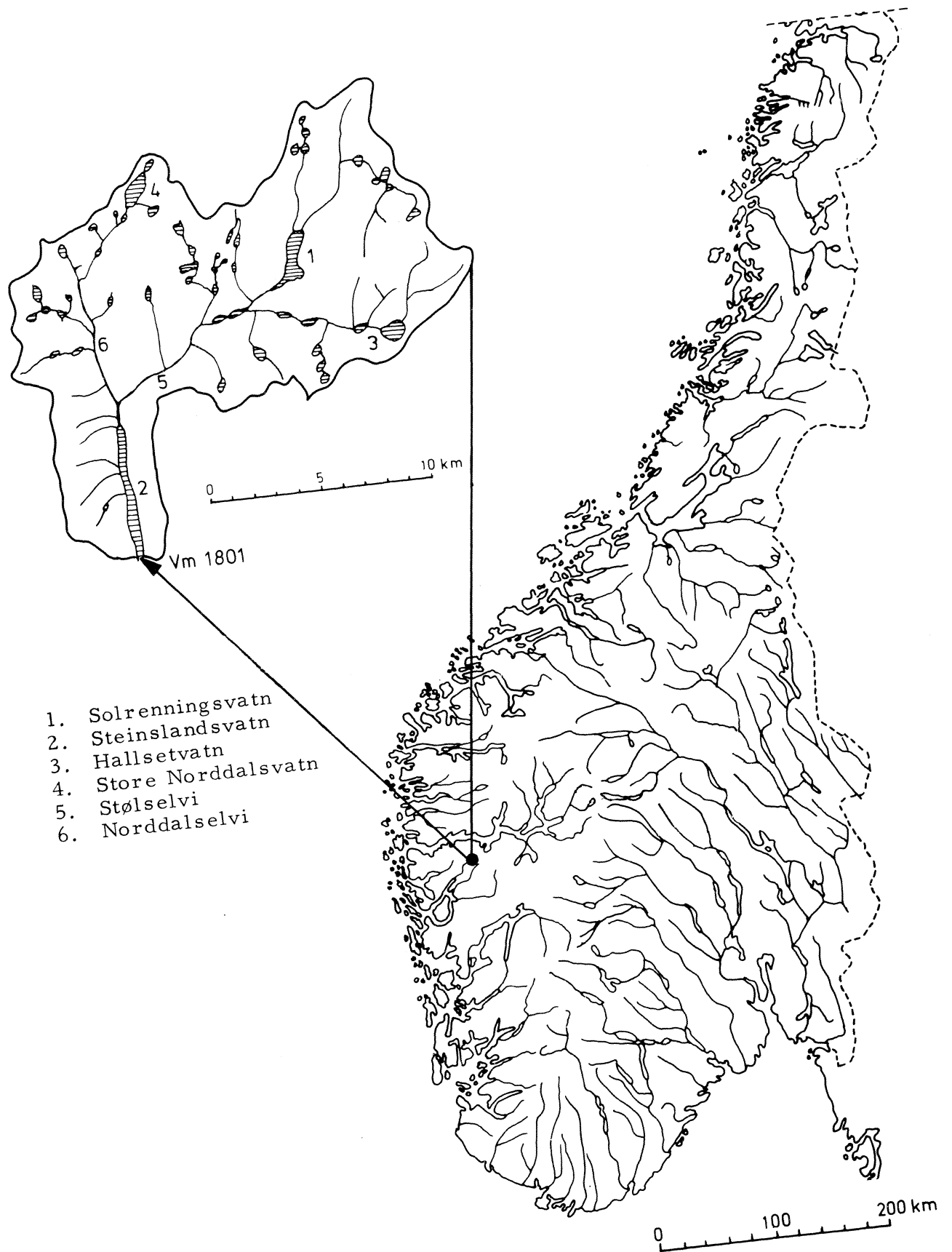


Fig. 5 Kart over Steinslandsvatn

5. MODELLTILPASNING

5.1 Kriterier for modelltilpasningen

For å avgjøre hvor god modelltilpasningen var, ble hydrogrammer av observert og simulert vannføring plottet og sammenlignet.

I tillegg ble et statistisk mål for vurdering av tilpasningen benyttet, nemlig det kvadratiske avviket mellom observerte og simulerte vannføringer. Målet var å få dette så lite som mulig. Tilpasningskriteriet som ble benyttet, er gitt ved:

$$R^2 = \frac{F_o^2 - F^2}{F_o^2}$$

der $F_o^2 = \sum_{k=1}^n (Q_{ok} - \bar{Q}_o)^2$

og $F^2 = \sum_{k=1}^n (Q_{ok} - Q_{sk})^2$

der Q_{ok} er observert vannføring dag nr. k
 $\bar{Q}_o$ er middelet for observert vannføring, $\bar{Q}_o = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n Q_{ok}$
 Q_{sk} er beregnet vannføring dag nr. k
 n er antall døgn

5.2 Korreksjoner av nedbør og temperatur

For å korrigere nedbør- og temperaturdata for høydevariasjoner i feltet ble høyde - areal kurve for feltet tegnet opp (fig. 6), og feltet delt i 5 like store delfelt etter høydenivå. For hvert delfelt ble korreksjonsfaktorer bestemt.

Det ble antatt at nedbøren øker med 12 % pr. 100 m (det samme som ble benyttet på Filefjell (3)), og at temperaturen avtar 0,6 °C pr. 100 m. Snøkorreksjonsfaktoren C_s ble satt lik 2,0.

Under kalibreringen av modellen viste det seg at nedbørens økning med høyden måtte økes til 14 % pr. 100 m og snøkorreksjonsfaktoren ble økt til 4,0.

5.3 Parameterestimering

Parametre som må bestemmes er:

I snørutinen: C_o , C_{eff} , C_{wn} , W_b , T_o

I jordfuktighetssonen: FC, LP, BETA

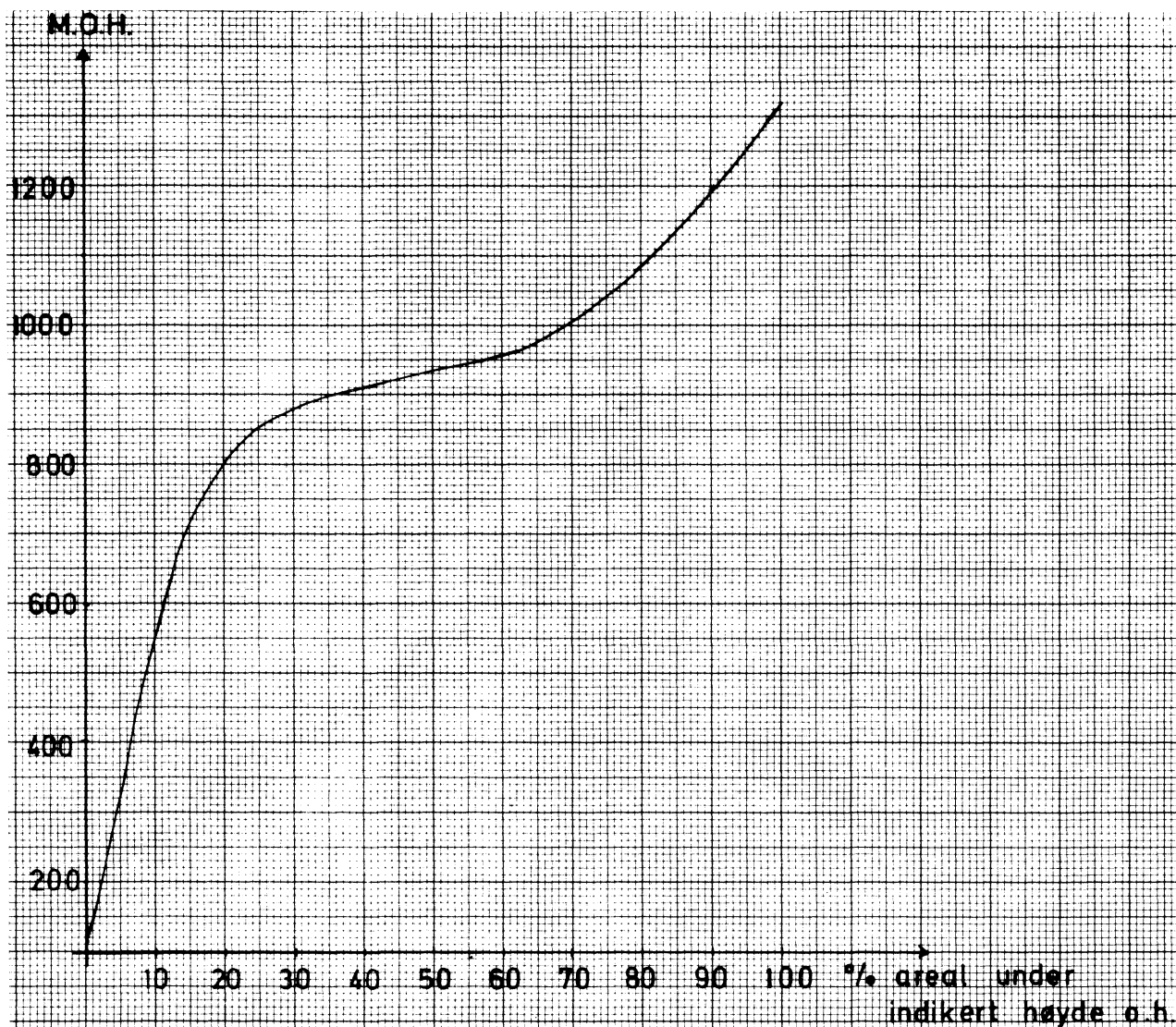


Fig. 6 Høyde-areal kurve for Steinslandsvatn

Vannføring og routing: K_{11} , K_{12} , UZL , K_2 , B_{max} ,
 C_{route} , PERC.

Ved å plote $\log Q$ mot tiden for nedbørfrie perioder, ble antallet og størrelsen av tømmingskonstantene bestemt. Resesjonsanalysen gav tre tømmingskonstanter, noe som viste at HBV-3 modellen med to tømmingskonstanter for øvre sone burde benyttes. Se fig. 7.

Parameteren PERC kunne også bestemmes ved analyse av hydrogrammene (1), men verdien fra Filefjell ble i stedet benyttet som et første estimat.

De øvrige parameterne fikk rimelige verdier i følge modelltilpasning av denne modellen for andre felter, da først og fremst Filefjell.

Vi valgte å starte modellkjøringen etter en tørr periode da vi kunne anta at øvre sone var nærmest tom for vann. Initialverdien for LZ ble da bestemt ved Q/K_2 . Initialverdien til vanninnholdet i jordfuktighetssonen ble satt litt vilkårlig, noe som fikk virkning for volumet av den første flomtoppen.

Under kalibreringen ble de fleste av parameterverdiene endret slik at overensstemmelsen mellom observert og generert vannføring ble best mulig.

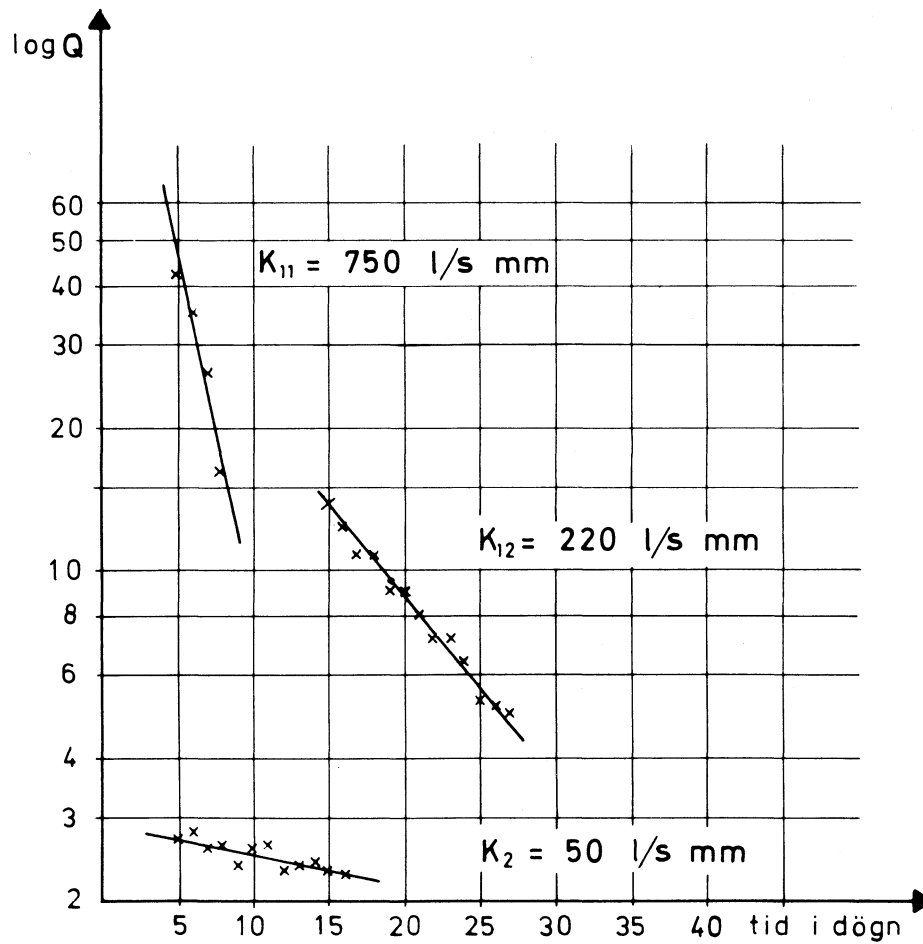


Fig. 7 Beregning av tømmingskonstantene K_{11} , K_{12} og K_2 .

De endelige parameterverdiene ble:

Parameter symbol	Parameter verdi
C_o	2,0 mm/ $^{\circ}$ C · døgn
C_{eff}	0
C_{wh}	10 ‰
W_b	10 mm
T_o	-2 $^{\circ}$ C
FC	80 mm
LP	80 mm
BETA	2,0
K_{11}	750 l/s mm
K_{12}	220 l/s mm
UZL	10 mm
K_2	50 l/s mm
B_{max}	1 dag
C_{route}	0
PERC	0,6 mm/døgn

R^2 verdier for kalibrerings- og test perioden ble:

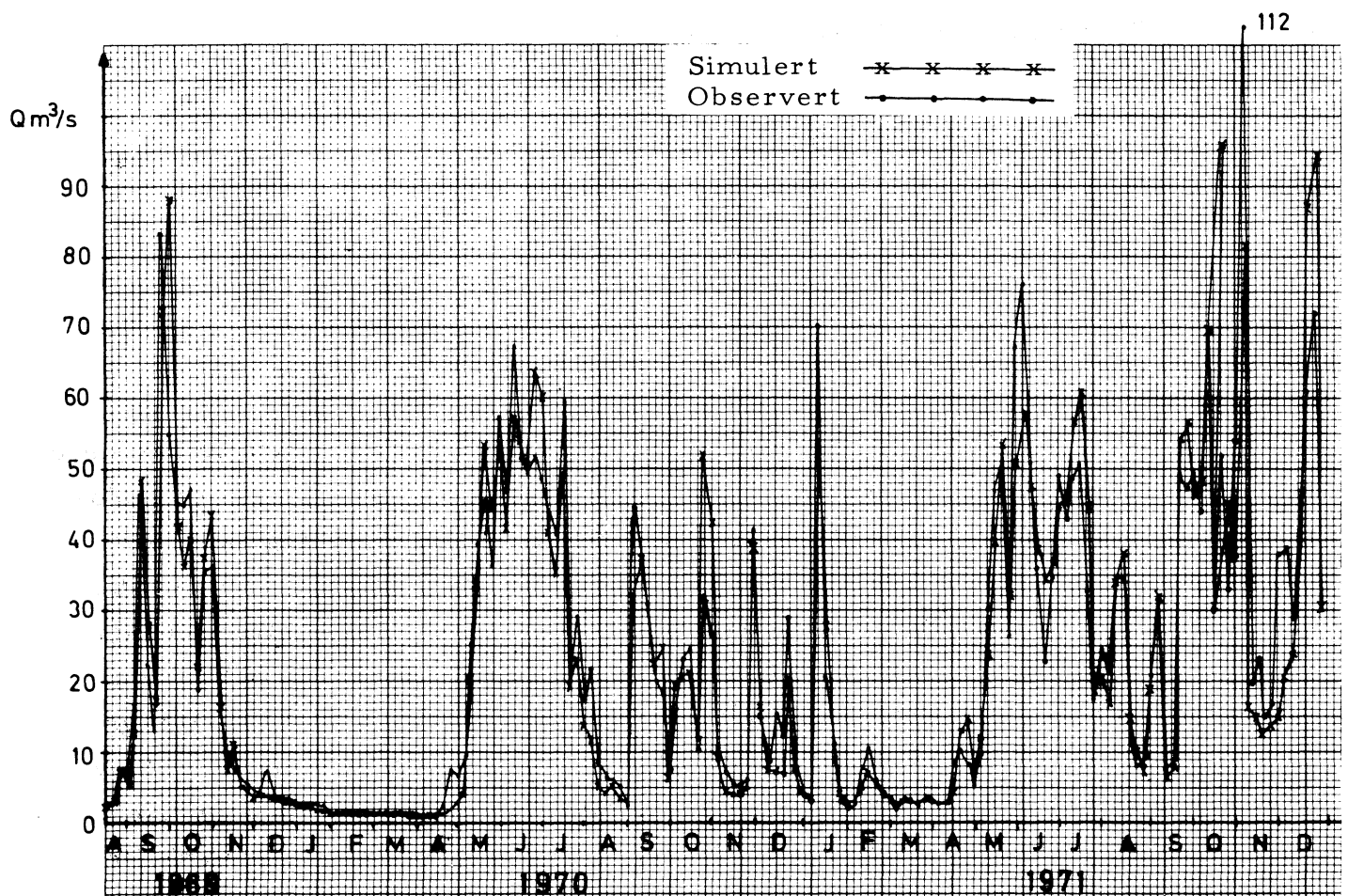
Periode	R^2
Kalibreringsperiode (1969-72)	0,81
Test periode (1973-75)	0,79

6. RESULTATER

Klimatisk ligger feltet i et område der spesielt høst- og vintermånedene er vanskelige å modellere siden mildvær og kulde stadig veksler. Modellen bygger på at overgang regn/snø og smelting/frysing skjer ved en bestemt temperatur. Temperaturdataenes nøyaktighet har derfor stor betydning for beregningen av vannføringen. Siden temperaturen observeres utenfor feltet og 800 m lavere enn middelhøyden i feltet, er det vanskelig å unngå at beregningen til enkelte tider gir smelte- og regntopper når nedbøren i virkeligheten faller som snø, og omvendt. Selv om modellen gir avvik for enkelte topper, er det overensstemmelse mellom volumene for observert og simulert vannføring for de enkelte hydrologiske år.

Bergenshalvøens Kommunale Kraftselskap ønsket 5-døgnsmidler av simulert vannføring, og fig. 8 viser plotting av observert og simulert vannføring for perioden 1969-75. Figuren viser at overensstemmelsen mellom simulert og observert vannføring er god når man tar det spinkle datagrunnlaget i betraktning.

På grunnlag av denne avløpsmodellen er avløpsdata beregnet for perioden 1945-68. Disse dataene danner det hydrologiske grunnlaget for planleggingen av kraftanlegget, og vil også bli brukt under det etterfølgende skjønnet.



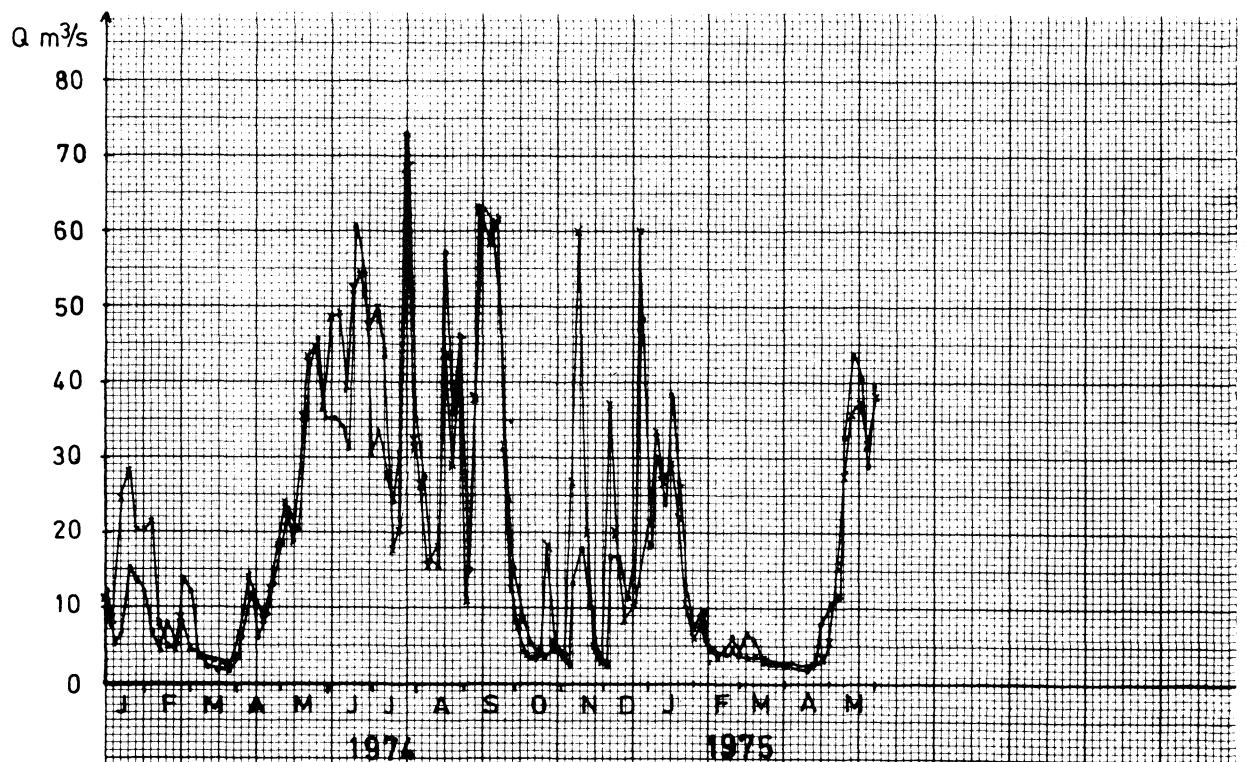
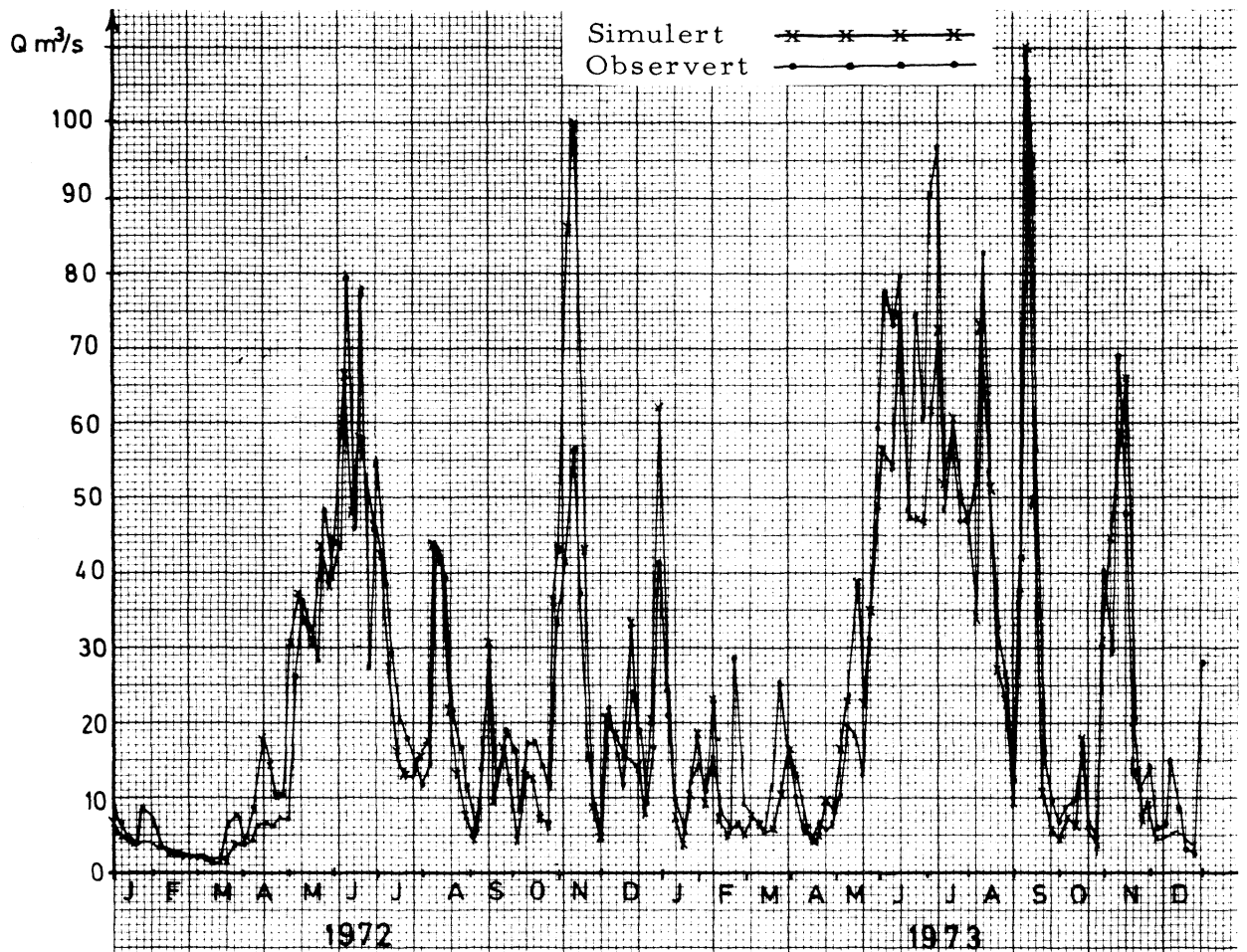


Fig. 8 Simulert og observert vannføring for Steinslandsvatn 1969-1975.

7. REFERANSER

- (1) Bergstrøm, S. og Forsman, A.
1973: Development of a conceptual deterministic rainfall-runoff model. Nordic Hydrology. Årg. 4. Nr. 3.
- (2) Bergstrøm, S.
1975: The development of a snow routine for the HBV-2 model. Nordic Hydrology. Årg. 6. Nr. 2.
- (3) Bergstrøm, S. og Jønsson, S.
1976: The application of the HBV runoff model to the Filefjell research basin. SMHI Rapporter, Hydrologi och Oceanografi. Nr. RHO 5.
- (4) Aam, S., Fossdal, M., Wingård, B., Killingtveit, Å. og Fjeld, M.
1977: Hydrologiske modeller ved drift av kraftverk, EFI/VH.
- (5) Reguleringsforeningens Landssammenslutning.
1976: Innstilling til arbeidet med tilsigsprognoser for vannkraftverk i 1977, Modellutvalget, Oslo.