

TILLÄMPNING AV HBV-2 MODELLEN PÅ
REGLERINGSMAGASIN I ÅNGERMANÄLVEN

av S Bergström och S Jönsson

HYDROLOGISKA BYRÅN

HB RAPPORT NR 18 Norrköping 1976

SVERIGES METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA INSTITUT
HYDROLOGISKA BYRÅN



TILLÄMPNING AV HBV-2 MODELLEN PÅ
REGLERINGSMAGASIN I ÅNGERMANÄLVEN

av S Bergström och S Jönsson

HYDROLOGISKA BYRÅN

HB RAPPORT NR 18 Norrköping 1976

TILLÄMPNING AV HBV-2 MODELLEN PÅ REGLERINGSMAGASIN I
ÅNGERMANÄLVEN

av

S Bergström och S Jönsson

HYDROLOGISKA BYRÅN

HB RAPPORT NR 18

Norrköping 1976

Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut

INNEHÅLL

	sid
1. MODELLEN	1
2. KALIBRERINGSTEKNIK	4
3. KULTSJÖN	5
3.1 Områdesbeskrivning och data	5
3.2 Utveckling av modellstrukturen	6
3.3 Resultat	7
3.4 Speciella undersökningar	9
4. MALGOMAJ	10
4.1 Områdesbeskrivning och data	10
4.2 Resultat	12
4.3 Speciella undersökningar	14
5. HETÖGELN - STRÖMS VATTUDAL	15
5.1 Områdesbeskrivning	15
5.2 Resultat	17
6. KULTSJÖN + MALGOMAJ	19
6.1 Resultat	19
7. PROGNOSE	21
7.1 Uppdatering	23
7.2 Korttidsprognoser	23
7.3 Långtidsprognoser	27
Referenser	31

1. MODELLEN

Utvecklingsarbetet med HBV-2 modellen har pågått vid SMHI de senaste åren, och är nu framme i ett skede där de praktiska tillämpningarna, framför allt tillrinningsprognoser, testas. Modellstrukturen har presenterats av Bergström och Forsman (1973). Snörutinen av Bergström (1975) och kalibreringstekniken av Bergström och Jönsson (1975). En schematisk bild av modellen visas i fig. 1.

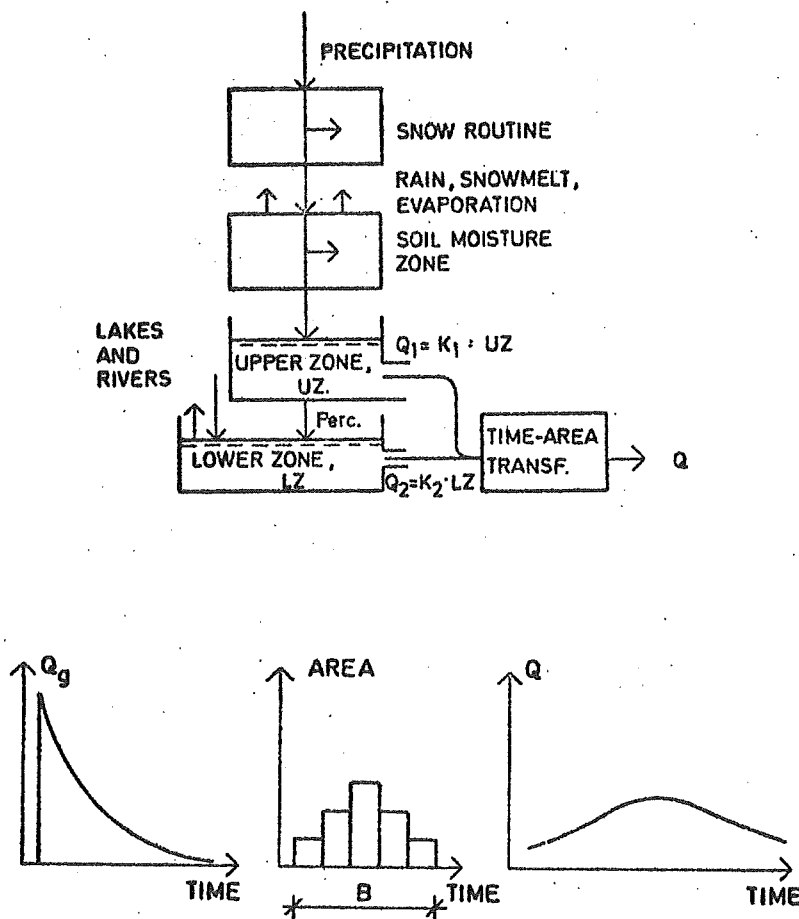


Fig. 1. Strukturen och tid-area transformationen i HBV-2 modellen.

Eftersom koncentrationstiden minskar med ökad flödeshastighet är basen i den triangulära viktningen beroende av storleken på de genererade vattenföringsvärdena enl. följande

$$B = B_{\max} - C_{\text{route}} \cdot Q_g \quad (1)$$

där

- B = triangelns bas
- B_{\max} = maximal bas vid låga flöden
- C_{route} = konstant
- Q_g = genererad vattenföring

Detaljerande studier av den snörutin som presenteras i Bergström (1975), har visat att vissa förenklingar kan göras. Snörutinen i detta arbete är därför mycket enkel och huvudsakligen en "degree-day" metod, med smältningen proportionell mot temperaturen över ett visst tröskelvärde, dvs:

$$M = C_o \cdot (T - T_o) \quad (2)$$

där

- M = snösmältning i mm
- C_o = konstant ("degree-day" faktor)
- T = dygnsmedeltemperatur
- T_o = tröskelvärde för smältning

För att ta hänsyn till fördelningen av snötäcket med höjden inom området, har snörutinen delats in i tio höjdzoner där temperatur och nederbörd justerats med T_{lapse} och P_{lapse} enligt den hypsografiska kurvan för området. Detta förfarande diskuteras mer ingående längre fram.

Modellens parametrar är följande:

1. I snörutinen.

- C_{sf} = Korrektionsfaktor för snönederbörd.
 P_{lapse} = Nederbördens ökning med höjden. (%/100 m.)
 T_{lapse} = Temperaturens avtagande med höjden. ($^{\circ}C/100$ m.)
 C_o = Smältningsfaktor ($mm/^{\circ}C \cdot dag$)
 C_{wh} = Snöns vattenhållande förmåga.
 T_t = Tröskelvärde på temperaturen för snö-ackumulering och smältning. ($^{\circ}C$)

2. I markvattenzonen

- F_c = Max. markvattenmagasin. (mm)
 L_p = Parameter som relaterar aktuell till potentiell avdunstning. (mm)
 $Beta$ = Parameter som fördelar tillskott till markvattenzonen och avrinning.

3. Avrinning och tid-area transformation.

- K_1 = Avrinningskoefficient, övre zon. ($l/s \cdot mm$)
 K_2 = Avrinningskoefficient, nedre zon. ($l/s \cdot mm$)
 $Perc$ = Perkolationskapacitet mellan övre och nedre zon. (mm/dag)
 B_{max} = Maximal tidsförskjutning i tillrinningen. (dagar)
 C_{route} = Minskning av tidsförskjutningen med ökad vattenföring. (dagar/(l/s))

4. Övriga parametrar.

- P_{corr} = korrektionsfaktor för nederbörd i form av regn.

Av dessa parametrar erhåller alla utan P_{lapse} och T_{lapse} sina värden genom passningsberäkning. Begynnelsevärden på K_1 och K_2 erhålles genom recessionsanalys av tillrinningsvärdena.

2. KALIBRERINGSTEKNIK

Innan modellen är färdig att tillämpas måste den kalibreras för området i fråga, dvs. man försöker finna de värden på de i modellen ingående parametrarna som ger bästa anpassning mellan observerad och beräknad tillrinning. Vi har använt oss av en ganska subjektiv metod där man justerar parametrarna mellan upprepade testkörningar och bedömer resultatet visuellt. Detta kräver ett visst mått av erfarenhet av hur olika parametrar påverkar olika delar av hydrografen. I vissa fall är man även tvungen att göra mindre förändringar i modellstrukturen. Ett ovärderligt hjälpmedel vid bedömningen är en plotter som ritar upp resultaten i form av kurvor efter varje testkörning (se t.ex. fig. 4). I figuren återfinns bl.a. en kurva för ackumulerad avvikelse mellan observerad och beräknad tillrinning. Denna ger en bra bild av volymfelen över en längre period. Som ett komplement beräknas ett anpassningskriterium angivet av Nash (1970) enl.

$$R^2 = \frac{\sum(Q_o - \bar{Q}_o)^2 - \sum(Q_b - Q_o)^2}{\sum(Q_o - \bar{Q}_o)^2}$$

där Q_b = beräknad tillrinning

Q_o = observerad tillrinning

\bar{Q}_o = medel av den observerade tillrinningen

Olika automatiska metoder för att kalibrera modeller finns beskrivna i litteraturen. Svagheten med dessa metoder är emellertid att man blir beroende av ett enda anpassningskriterium som inte alltid återger användarens avsikter. Fel i vissa delar av hydrografen kan maskeras av större fel i andra delar och vara svåra att upptäcka i ett enda anpassningskriterium. Det mänskliga ögat har betydligt bättre förmåga att urskilja detaljer. En annan risk med ett automatiskt kalibreringsförfarande är att man "hamnar" i ett lokalt optimum och inte finner den absolut bästa parameteruppsättningen.

Efter att kalibreringen är slutförd, testas modellen på ett oberoende data-material för att försäkra oss om att vi inte bara anpassat en kurva till en serie punkter. Här har använts åtta år för kalibrering och fyra för oberoende test. En utförligare beskrivning av kalibreringstekniken ges i Bergström och Jönsson (1975).

3. KULTSJÖN

3.1 Områdesbeskrivning och data

Kultsjöns lokala tillrinningsområde är det första område med inslag av kalfjäll där HBV-2 modellen tillämpats. Höjdskillnaderna är stora och området har en typisk fjällkaraktär med branta sluttningar ner mot den centrala dalen. Området som återfinns i fig. 2. har följande karaktäristika:

area	1109 km ²
sjöar	6 %
myrar	6 %
kalfjäll	51 %
jordart	morän
vegetation under trädgränsen	huvudsakligen barrskog
höjdintervall	540 - 1580 m.ö.h.
antal nederbördsstationer	3
antal temperaturstationer	1

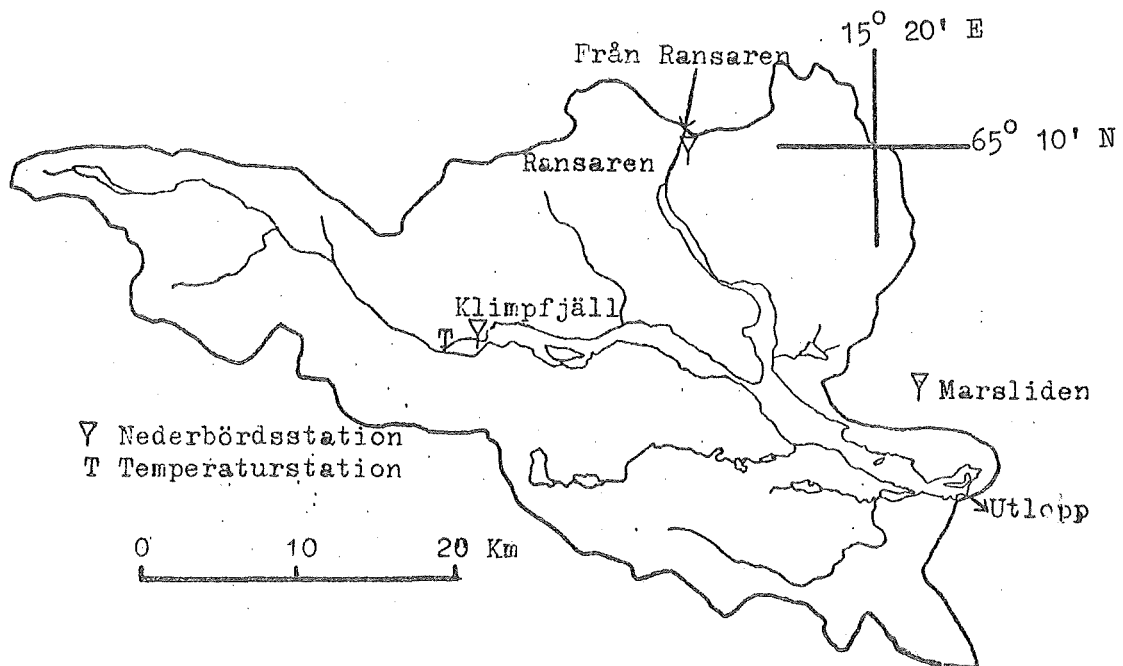


Fig. 2. Kultsjöns lokala tillrinningsområde.

Ingångsvariabler till modellen är dagliga värden på nederbörd och dygnsmedeltemperatur samt månadsmedelvärden på potentiell avdunstning. Efter samråd med meteorologer på SMHI om stationernas kvalitet och representativitet valdes för nederbörd Klimpfjäll, Ransaren och Marsliden och för temperatur Klimpfjäll. Varje nederbördsstation erhöll vikten $1/3$. Till en början gjordes även försök att använda Leipikvattnet, ca 3.5 mil VSV om Klimpfjäll, som nederbördsstation, men under kalibreringen visade det sig att resultaten blev bättre då denna station uteslöts. Stationernas höjd över havet framgår av fig. 3. som är en hypsografisk kurva för området. Kurvan är bestämd från en topografisk karta, genom avläsningar av höjden i skärningspunkterna i ett rutnät.

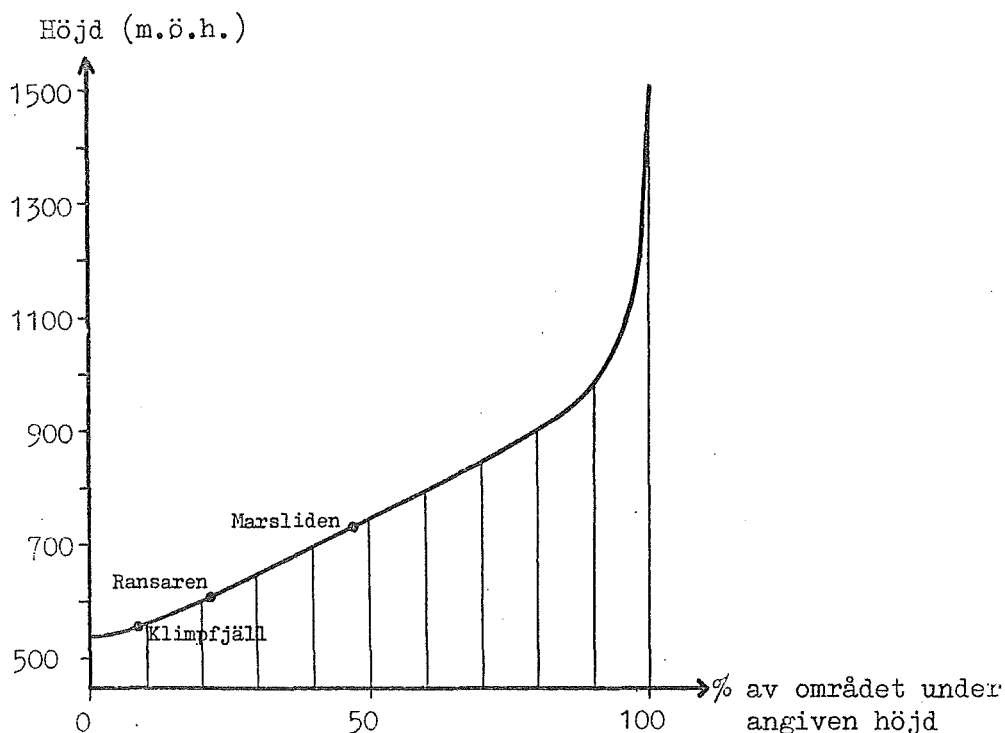


Fig. 3. Hypsografisk kurva för Kultsjöns lokala tillrinningsområde.

3.2 Utveckling av modellstrukturen

Som framgår av fig. 3. är stationerna belägna i områdets allra lägsta delar, vilket naturligtvis är olyckligt med tanke på representativiteten. För nederbörd i form av regn byggs nederbördens höjdberoende in i den korrektionsfaktor som ändå anbringas för att ta hänsyn till systematiska underskattningar av nederbörden och den areella representativiteten hos nederbördsmätarna. Under snösmältningen däremot är snötäckets och temperaturens höjdfördelning av stor betydelse för snösmältningens och vårflodens förlopp.

Därför var en viss förändring av modellstrukturen nödvändig. Området delas in i tio höjdzoner och snöackumulation och smältning behandlas i varje zon för sig. Resultatet blir en mera utjämnad snösmältning, där snötäcket efter hand smälter bort i allt högre delar. Temperaturavtagandet antogs vara 0.5°C per 100 m och nederbördens ökning med höjden erhöles från Wallén (1951) till 18 % per 100 m.

3.3 Resultat

Modellen kalibrerades över perioden oktober 1962 till september 1970. Därefter testades modellen, med de kalibrerade parametervärdena, på ett oberoende datamaterial från oktober 1970 till september 1974. Resultaten uttryckta som R^2 -värden redovisas i tabell 1. Kalibreringen avslutades efter 38 körningar.

Tabell 1. Resultat av kalibrering och test med HBV-2 modellen för Kultsjön.

	R^2 -värde
Kalibrering 1962-1966	0.80
Kalibrering 1966-1970	0.87
Test 1970-1974	0.84

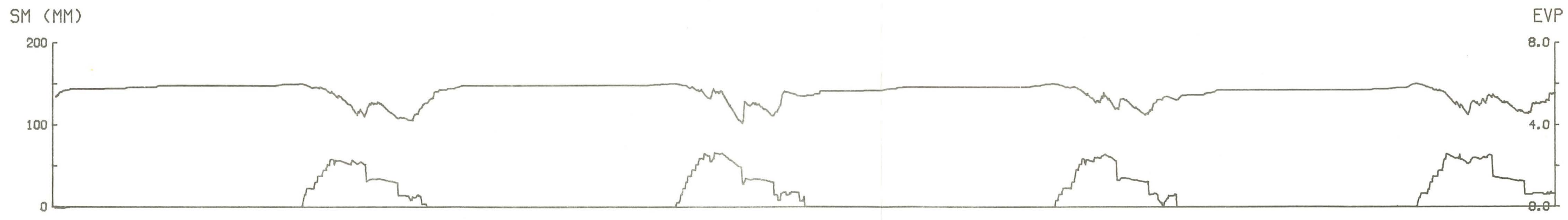
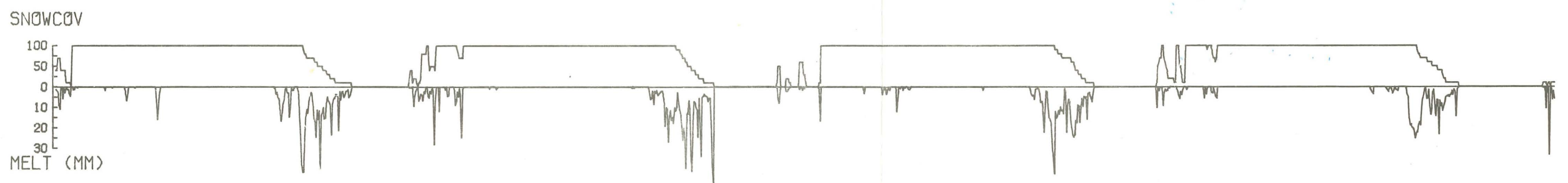
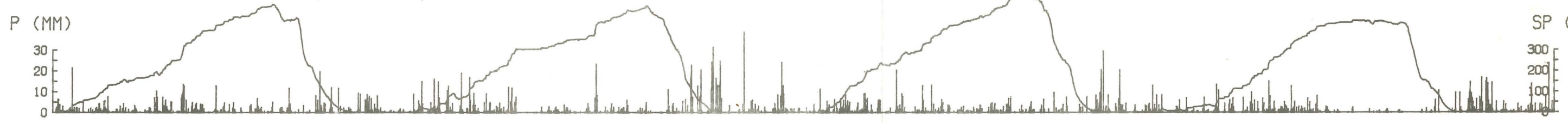
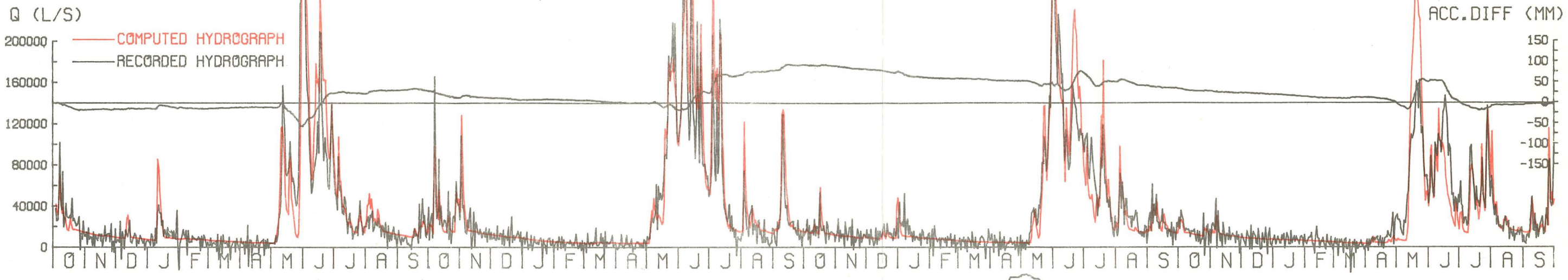
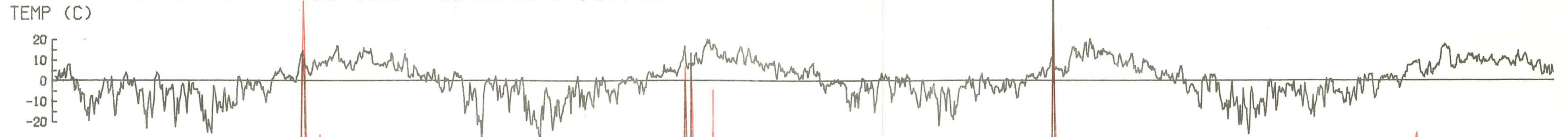
R^2 -värdet för testperioden är av samma storleksordning som vid kalibreringen, vilket tyder på att kalibreringen lyckats och att vi erhållit stabila parametervärden. Resultaten av den oberoende testperioden visas i fig. 4. som är en uppritning gjord med en till datamaskinen ansluten plotter.

Beteckningarna i figuren är följande:

- TEMP = temperatur, dygnsmedelvärde. ($^{\circ}\text{C}$)
- Q = beräknad (röd) och observerad (svart) tillrinning. (l/s)
- ACC.DIFF = ackumulerad avvikelse. (mm)
- P = nederbörd (mm)
- SP = arealmedelvärde av snötäckets vattenekvivalent, beräknad i modellen. (mm)
- SNOWCOV = snötäckt yta i modellen (%)
- MELT = beräknad snösmältning, samt när snö finns kvar även nederbörd i form av regn. (mm)
- SM = markvatteninnehåll i modellen. (mm)
- EVP = beräknad aktuell avdunstning. (mm)

Fig. 4. Testperioden i Kultsjöns lokala tillrinningsområde. (Följande sida)

SMHI HBV-3 KULTSJÖN 70.10.01-74.09.30



JOB 17 HBV3
DATE: 751125
TIME: 10.07
PROGRAM: HBV3
HV*SB

Som framgår av figuren är kvalitén på de observerade tillrinningsvärdena inte den allra bästa. Under vinterrecessionen förekommer även negativa värden. Detta "brus" är förmodligen till största delen en effekt av den beräkningsrutin som används för att få lokal tillrinning till regleringsmagasinet. I dessa värden ingår en term som utgör magasin-sändringen. Ett fel i vattenståndsbestämningen ger därför fel i två på varandra följande tillrinningsvärden. eftersom magasin-sändringen beräknas som skillnaden mellan magasin-sinnehållet vid dygnets början och slut. För Kultsjön ger en feluppskattning av vattenståndet på 1 cm ett fel på ca $6 \text{ m}^3/\text{s}$ i tillrinningsvärdet. Under sommaren tillkommer effekten av vindens snedställning av vattenytan i magasinet. Dessa fel påverkar dock inte volymen över en längre period eftersom en överskattning alltid följs av en underskattning eller tvärtom, men tolkningen av modell-anpassningen försvåras givetvis, speciellt i topparna i områden med mycket snabb respons. Ett sådant område är Kultsjön där fördröjningen mellan nederbörd (smältning) och tillrinning är mycket kort. Detta återspeglas i parametern B_{\max} som är två dagar i Kultsjön. B_{\max} är det största antalet dagar över vilka den genererade tillrinningen viktas i tid-area transformation (fig. 1). Genom parametern C_{route} tillåts denna tid att minska så att vid höga flöden nederbördstopp och avrinnings-topp i Kultsjön infaller samma dag (ekv. 1). Den snabba responsen medför också att ett fel, eller dålig representativitet, i nederbörd eller temperatur omedelbart ger utslag i topparna storlek.

Under vårfloden inträffar ibland den typ av följdfel, som illustreras i vårflödet 1974, där en överskattning av den första toppen medför en underskattning av den andra eftersom snötäcket smält av för tidigt. Volymen över hela vårfloden är emellertid riktig (se ACC.DIFF.) och en uppdatering av det första flödet hade medfört en bättre anpassning i det andra. En uppdatering hade i det här fallet inneburit att temperaturen korrigerats så att ett riktigare värde på snötäcket erhållits inför den andra toppen. En sådan åtgärd är mycket viktig, speciellt under vårfloden, i en aktuell prognossituation. Av den ackumulerade differensen kan man också utläsa att den största feluppskattningen i vårflödesvolym (1973) uppgår till ca 70 mm. En del av detta fel, som är det största även då man inkluderar kalibreringsperioden, är en följd av överskattning av de intensiva regnflödena i början av juli.

En lista över de slutgiltiga parametervärdena redovisas i tabell 2. Observera att för regn korrigeras nederbörden endast med P_{corr} medan snönederbörden korrigeras både genom C_{sf} och P_{lapse} , där den senare parametern ombesörjer snötäckets höjdfördelning.

Tabell. 2. Modellparametrarnas värden i Kultsjön.

P_{lapse}	=	18 %/100 m	
T_{lapse}	=	-0.5 °C/100 m	
C_{sf}	=	1.2 (korrektionsfaktor för snönederbörd)	
P_{corr}	=	1.33 (korrektionsfaktor för regnnederbörd)	
C_o	=	3.2 mm/°C · dag (ekv. 2)	
T_o	=	0.5 °C (ekv. 2)	
C_{wh}	=	5 % (snöns vattenhållande förmåga)	
F_c	=	150 mm ¹⁾	
L_p	=	150 mm ¹⁾	
Beta	=	3.0 ¹⁾	
Perc	=	1.3 mm/dag ¹⁾	
K_1	=	4000 l/s · mm	(fig. 1)
K_2	=	300 l/s · mm	(fig. 1)
B_{max}	=	2 dagar	(ekv. 1)
C_{route}	=	1.03 · 10 ⁻⁶ dagar / (l/s)	(ekv. 1)

1) Se t.ex. Bergström och Forsman (1973)

3.4 Speciella undersökningar

Månadsmedelvärdena på potentiell avdunstning är beräknade för perioden 1931 - 1960 av Wallén (1966) med Penmans formel. För Kultsjön gjordes ett test där vi utjämnade månadsmedelvärdena till dagliga värden. Testet genomfördes efter att modellen kalibrerats med månadsmedelvärden, men skillnaden i anpassning var så liten att en fortsatt kalibrering inte hade förändrat resultaten nämnvärt. Detta framgår också vid en jämförelse av R^2 -värdena (tabell 3). Vi fann därför ingen anledning att använda utjämnade månadsvärden i stället för månadsmedelvärden.

Tabell. 3. R^2 -värden med månadsmedel- resp. utjämnade månadsvärden på potentiell avdunstning.

	Månadsmedelvärden	Utgjämna månadsmedelvärden
1962 - 1966	0.7977	0.7975
1970 - 1974	0.8402	0.8399

Då det i ett område som Kultsjön förmodligen är ganska stora skillnader i jordlagrets tjocklek på olika höjd, gjordes en undersökning där vi fördelade markens maximala vatteninnehåll mellan samma höjdzoner som i snörutinen. Vi ansatte ett linjärt avtagande med höjden, och nu korri-gerades även regnederbörden för höjdberoendet då ju detta påverkar markens fyllnadsgrad i de olika zonerna. En viss ökning i regnflödenas storlek kunde iakttas vilket förmodligen beror på att markvattenmaga-sinet de i de översta zonerna fylls snabbare varvid en större del av ett tillrökott går direkt till avrinning. Några förbättringar i anpass-ning som kunde motivera att denna fördelning bibehölls erhöles emeller-tid inte.

Tabell. 4. Resultat vid fördelning av markvattenmagasinet med höjden. R^2 -värden.

	Icke fördelat markvattenmagasin	Fördelat markvattenmagasin
1962 - 1966	0.7977	0.7902
1966 - 1970	0.8712	0.8753
1970 - 1974	0.8402	0.8495

4. MALGOMAJ

4.1 Områdesbeskrivning och data

Malgomajs lokala tillrinningsområde ligger nedströms Kultsjön och land-skapet har här fått en karaktär av skogslandskap. Höjdskillnaderna är fortfarande ganska stora men den hypsografiska kurvan (fig. 6) har fått ett annat utseende, med 90 % av området under 650 m.ö.h. Andelen kalfjäll är liten och myrprocenten relativt stor, som framgår av följande karak-täristika för området.

area	1862 km ²
sjöar	8 %
myrar	18 %
kalfjäll	7 %
jordart	morän

vegetation	barrskog
höjdiintervall	340 - 1580 m.ö.h.
antal nederbördsstationer	3
antal temperaturstationer	1

Det stora höjdiintervallet beror på att Marsfjället (1580 m.ö.h.) ligger på vattendelaren. Medelhöjden för den högst belägna tiodelen av området är dock inte större än ca 800 m.ö.h.

Ett problem i Malgomaj är att det inte finns några användbara nederbördsstationer i områdets centrala och sydliga delar. Endast två av de utnyttjade stationerna, Marsliden och Blaikliden, ligger inom området men då nära vattendelaren i det nordvästra hörnet. Därutöver har Nyluspen ca. 2 mil öster om vattendelaren använts. Inga temperaturstationer med dagliga värden finns inom området, varför vi till en början använde medelvärdet för Klimpfjäll och Ulvoberg. Vid den fortsatta kalibreringen uteslöts emellertid Klimpfjäll, då resultaten blev bättre med endast Ulvoberg. Stationernas läge framgår av kartan i fig. 5.

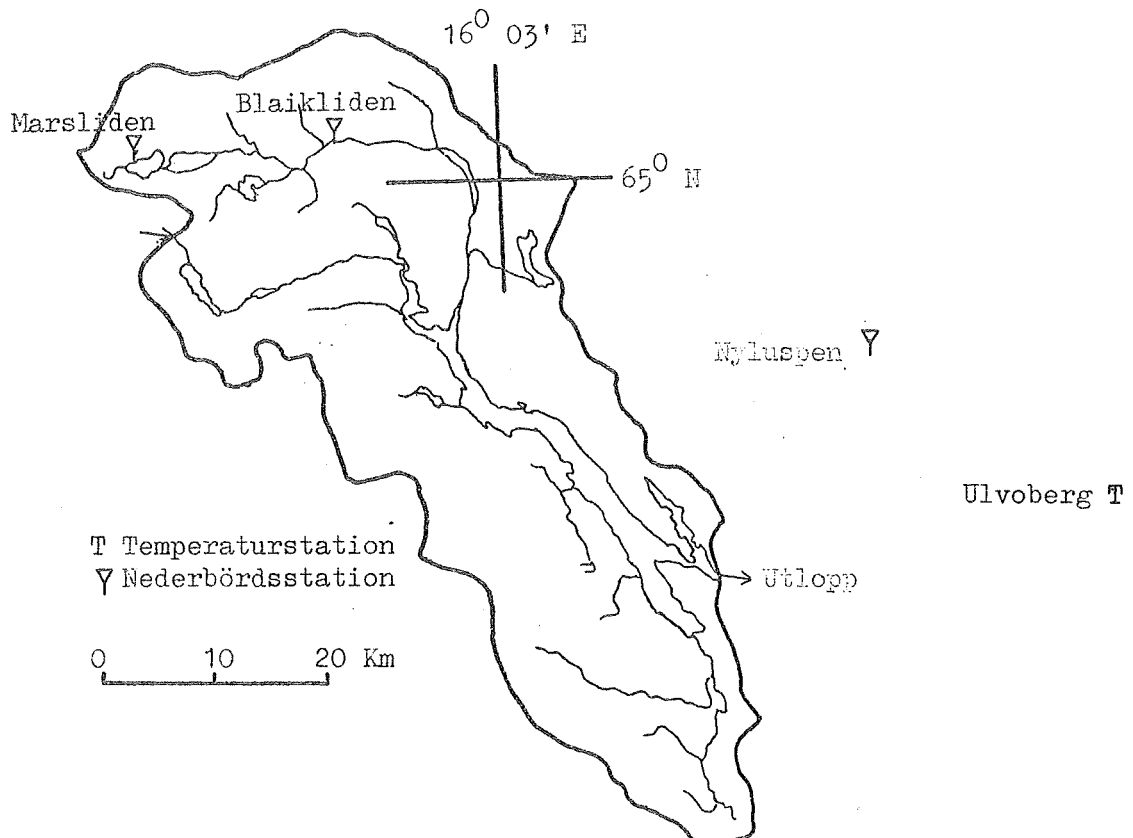


Fig. 5. Malgomajs lokala tillrinningsområde.

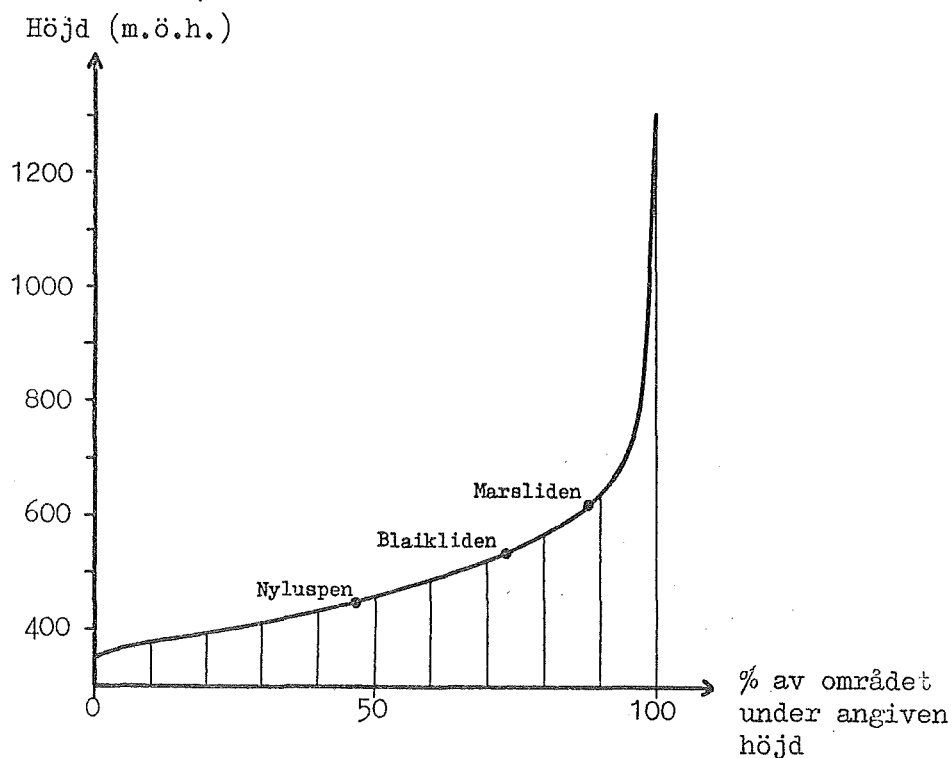


Fig. 6. Hypsografisk kurva över området.

4.2 Resultat

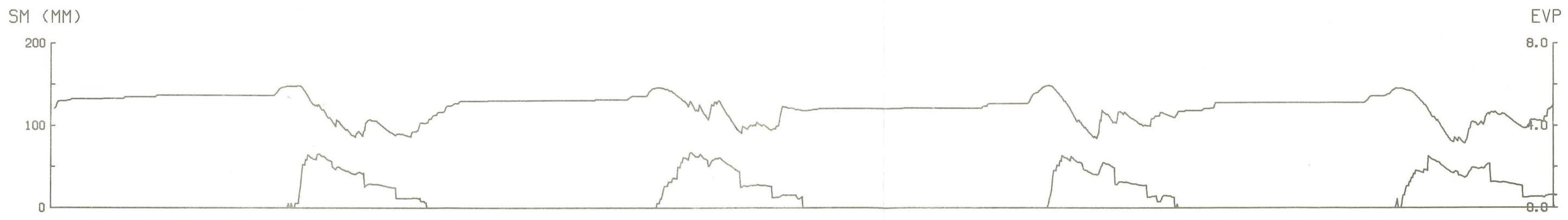
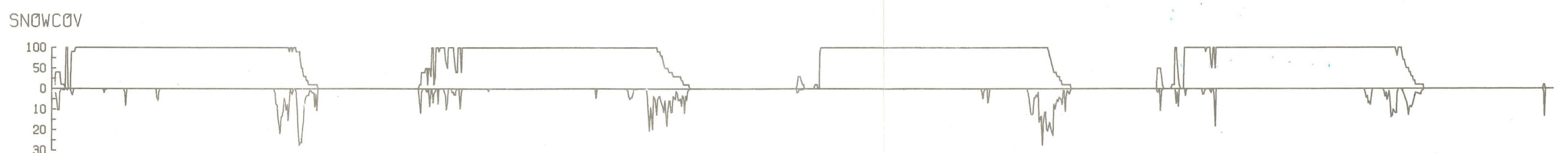
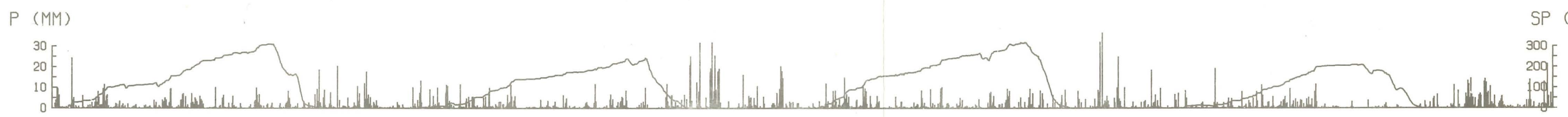
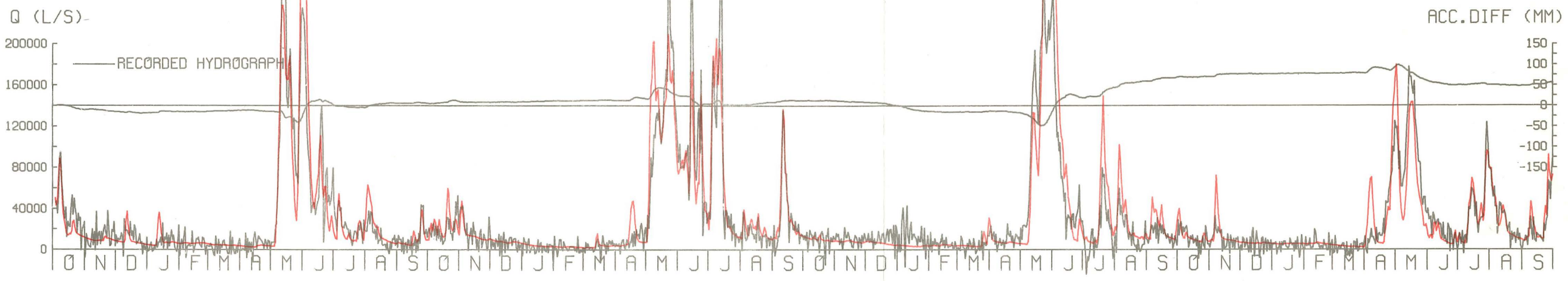
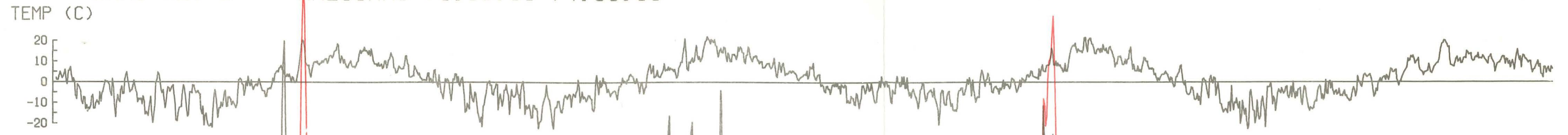
Med en del specialundersökningar angående vindens effekt på snöackumulation och smältning (kap. 4.3) blev antalet körningar 22. Då vi efter dessa test inte kunde motivera införandet av vinden som en ny variabel, är den slutgiltiga parameteruppsättningen i tabell 6 den vi erhöll vid den 16:e körningen. Av R^2 -värdena i tabell 5 liksom av uppritningarna (fig. 7.) framgår att resultaten för Malgomaj ej är lika lyckade som för de övriga områdena. En anledning till detta är troligen att Malgomajs tillrinningsområde ligger i en lucka i nätet av nederbörds- och temperaturstationer.

Tabell. 5. R^2 -värden vid kalibrering och test i Malgomaj.

		R^2 -värde
Kalibrering	1962 - 1966	0.79
Kalibrering	1966 - 1970	0.83
Test	1970 - 1974	0.79

Fig. 7. Den oberoende testperioden i Malgomajs lokala tillrinningsområde. (Följande sida)

SMHI HBV-3 MALGÖMAJ 70.10.01-74.09.30



JOB 74 HBV32
 DATE: 751106
 TIME: 13.21
 HVASJ
 PROGRAM: HBV3

Särskilt svårt var det att få vårflödestopparnas storlek riktiga. Vissa toppar överskattas medan andra underskattas. Då responsen även i Malgomaj är mycket snabb ($B_{max} = 2$, $C_{route} = 0$), får ett felaktigt eller icke representativt värde på temperaturen en mycket stor effekt just på topparnas storlek. Det är därför olyckligt att den enda temperaturstation som används ligger utanför själva området.

Regnflödena i september 1972 och i juli - augusti 1974 återges mycket bra i modellen. I juli - augusti 1973 överskattas regnflödena. Orsaken kan naturligtvis vara brister i modellen eller att den uppmätta nederbörden är för stor, men om man betraktar den observerade vattenföringen finner man att det förekommer omotiverat stora ras dels efter vårfloden, och dels efter de båda flödena i juli och augusti. Tillrinningsvärdena är till och med negativa flera dagar i följd i början av juli. Att de observerade värdena över hela perioden juli - augusti skulle var för låga har dock inte kunnat bekräftas. Överlag, om även kalibreringsperioden inkluderas, klarar modellen i Malgomaj regnflöden betydligt bättre än smältflöden.

Tabell. 6. Modellparametrarnas värden i Malgomajs lokala tillrinningsområde.

P_{lapse}	=	15 %/100 m
T_{lapse}	=	0.5 °C/100 m
C_{sf}	=	1.05
P_{corr}	=	1.0
C_o	=	2.5 mm/°C · dag
T_o	=	1.0 °C
C_{wh}	=	10 %
F_c	=	150 mm
L_p	=	150 mm
Beta	=	2.0
Perc	=	0.6 mm/dag
K_1	=	5 800 l/s · mm
K_2	=	860 l/s · mm
B_{max}	=	2 dagar
C_{route}	=	0 dagar /(1/s)

4.3 Speciella undersökningar

I Malgomaj hade vi svårt att få vårflödesvolymerna riktiga. Detta framgår av tabell 7, där ungefärliga värden på den ackumulerade differensen över sju vårflöden är angivna.

Tabell. 7. Ackumulerad differens i mm över sju vårflöden i Malgomaj.

År	64	65	66	67	68	69	70
Acc. Diff.	40	40	-20	-60	-20	0	0

För att försäkra oss om att det inte var någon enskild nederbördsstation som var orsaken, uteslöts en station i taget av de tre. Mönstret i tabell 7 upprepade sig dock varje gång.

Att vinden har stor betydelse för nederbördsrätarnas förmåga att fånga upp nederbörd det vet man, men här är det fråga om en lång ackumuleringsperiod, och eventuellt jämnas felen ut så att man kan låta en konstant korrektionsfaktor för snönederbörd ta hand om vindeffekten. Vinddata från Stensele användes vid ett försök att korrigera för vindeffekten vid snönederbörd. Av resultaten i tabell 8 att döma vinner vi ingenting på denna korrektion. Skillnaderna i ackumulerad differens är marginella vilket också visar sig i R^2 -värdet över fyraårsperioden som blev ungefär detsamma med eller utan vindkorrektion. Dygnet medelvind bildades av tre observationer, kl. 07, 13 och 19, under dygnet, och som maxvind togs det största av dessa tre.

Tabell. 8. Ackumulerad differens över vårfloden utan resp. med vindkorrektion för snöfall. Värdena i mm

	1967	1968	1969	1970
Utan vindkorrektion	-60	-20	0	0
Korrektion för medelvind	-60	-30	0	-10
Korrektion för maxvind	-50	-20	0	-5

Vindens betydelse för snösmältningen undersöktes genom att vi ansatte en ekvation enligt:

$$M = (C_{v1} + C_{v2} \cdot V) \cdot (T - T_o) \quad (3)$$

där

$$C_{v1}, C_{v2} = \text{konstanter}$$

$$V = \text{dygnet medelvind}$$

Vid kalibreringen erhöjls $C_{v1} = 1.5$ och $C_{v2} = 0.55$. Resultaten uttryckta som R^2 -värden för de två kalibreringsperioderna om 4 år återfinns i nedanstående tabell.

Tabell. 9. R^2 -värden med och utan vind i smältekvationen.

	1962-1966	1966-1970
Utan vind	0.7856	0.8316
Med vind	0.7879	0.8473

Av R^2 -värdena att döma skulle anpassningen vara lika bra eller t.o.m. något bättre med denna vindfunktion i smältekvationen, men våra visuella bedömningar av uppritningarna bestyrkte inte att så var fallet. Nu bör man komma ihåg att vind uppmätt i Stensele (ca 5 mil från vattendelaren) inte säkert är representativ för Malgomaj. Som tidigare nämnts är dessutom medelvinden beräknad av endast tre observationer under dygnet. Med kontinuerligt registrerad vindhastighet inom området hade kanske resultatet blivit ett annat. Då den förra situationen är den vanliga, bör man vara försiktig med att införa en ny variabel, om inte förbättringen är mycket tydlig. En ytterligare komplikation då det gäller vindkorrektion för snöfall är att man inte vet vinden just då snön föll, om man inte har kontinuerliga registreringar av vind samt observationer av tiden för snöfallet.

HETÖGELN - STRÖMS VATTUDAL.

Områdesbeskrivning och data

En karta över det lokala tillrinningsområdet återfinns i fig. 8. Området ligger i Faxälvsgrenen av Ångermanälven i norra Jämtland och sträcker sig en bit in i Norge. Området har följande karaktäristika:

area	3851 km ²
sjöar	10 %
myrar	5 %
kalfjäll	13 %
jordart	huvudsakligen morän
vegetation under trädgränsen	barrskog
höjdintervall	285 - 1300 m.ö.h
antal nederbördsstationer	4
antal temperaturstationer	2

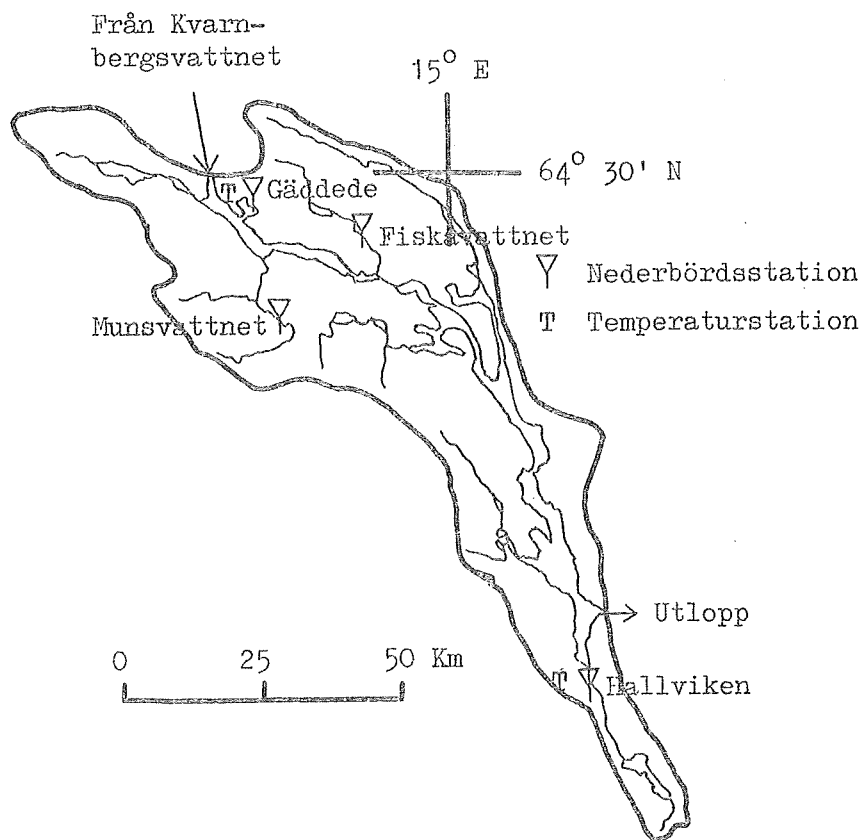


Fig. 8. Metögelns - Ströms Vattudals lokala tillrinningsområde.

Som nederbördsstationer valdes Gäddede, Fiskåvattnet, Munsvattnet och Hallviken. Gäddede och Hallviken fungerade också som temperaturstationer. Månadsmedelvärden på avdunstning erhöles som tidigare från Wallén (1966). Genom upprepade körningar där vi gav nederbörds- och temperaturstationerna olika inbördes vikt, fann vi att inga signifikanta förbättringar kunde fås jämfört med den först ansatta viktningen där varje nederbördsstation erhöil vikten 0.25, och de två tempstationerna 0.5 vardera. Stationernas lägen framgår av kartan och deras höjdlägen av den hypsografiska kurvan i fig. 9.

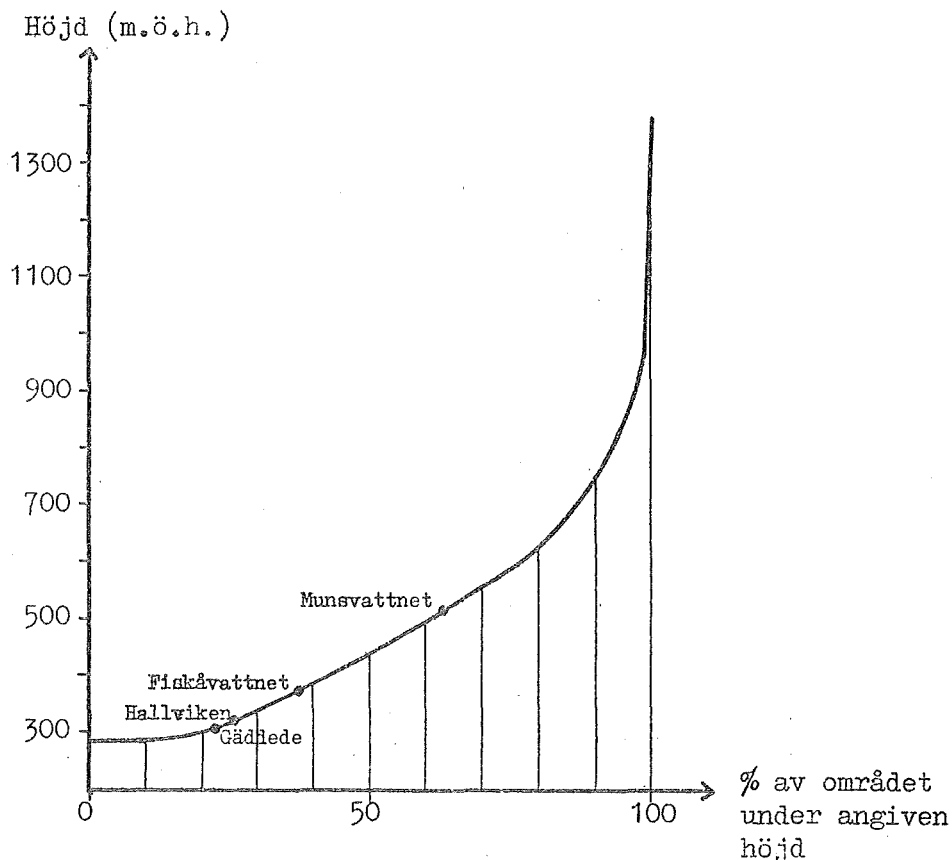


Fig. 9. Hypsografisk kurva för Hetögeln - Ströms Vattudal.

Jämfört med Kultsjön är andelen kalfjäll liten, samtidigt som sjöprocenten är högre. Dessa olikheter i fysiografi kan förväntas påverka tillrinningsförloppet, och man finner också att detta är mera dämpat än i Kultsjön.

5.2 Resultat

Kalibrerings- och testperiod var desamma som tidigare. För kalibreringen behövdes 18 körningar. Anledningen till att antalet körningar blev betydligt mindre än för Kultsjön är att vi här inte gjorde någon vidare utveckling av modellstrukturen samt att våra erfarenheter av olika parametrars inverkan på hydrografen ökat. R^2 -värdena vid kalibrering och test redovisas i tabell 10, och en uppritning av den oberoende testperioden i fig. 10.

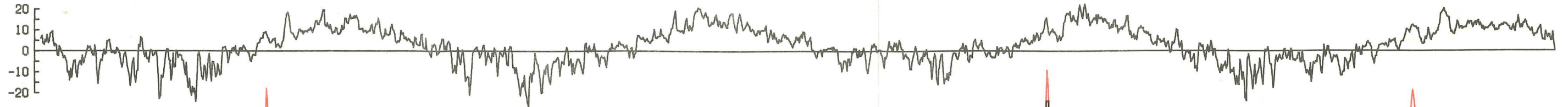
Tabell. 10. Resultat av kalibrering och test med HBV-2 modellen för Hetögeln - Ströms Vattudal

		R^2 -värde
Kalibrering	1962 - 1966	0.84
Kalibrering	1966 - 1970	0.90
Test	1970 - 1974	0.83

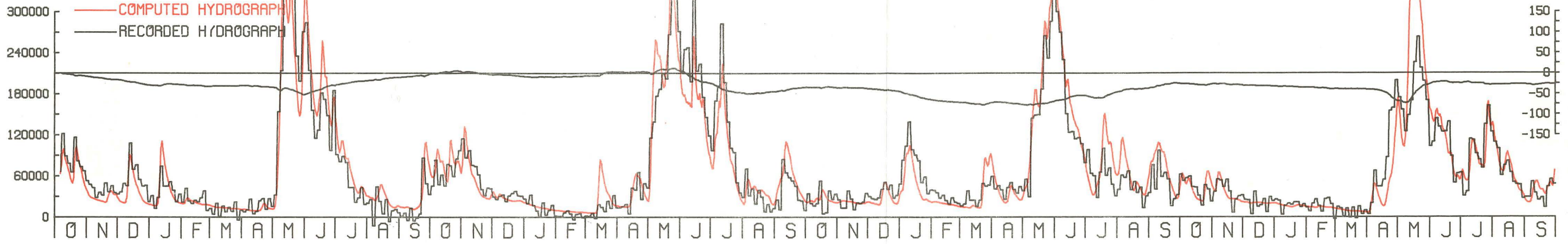
Fig. 10. Den oberoende testperioden i Hetögeln - Ströms Vattudal.
(Se följande sida)

SMHI HBV-3 STRÖMSVD 70.10.01-74.09.30.

TEMP (C)



Q (L/S)



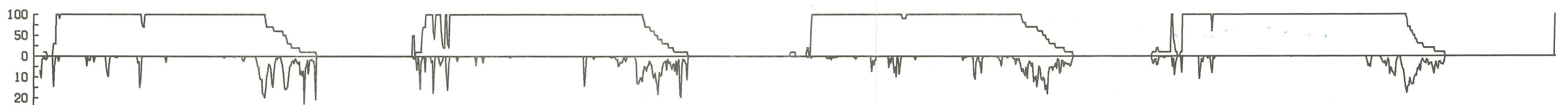
P (MM)



SP (MM)



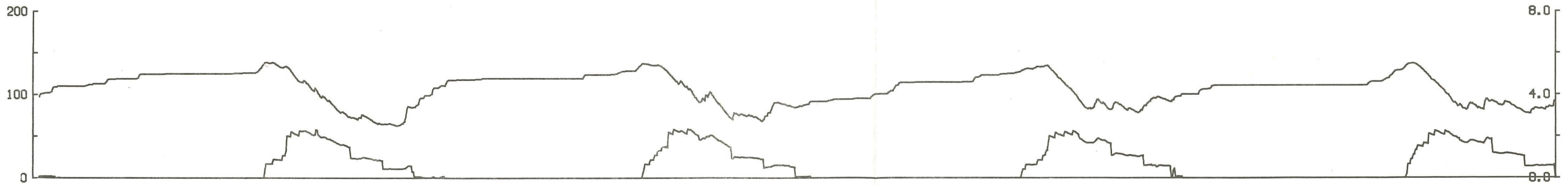
SNOWCOV



MELT (MM)



SM (MM)



EVP (MM)



JOB 13 HBV32
DATE: 751121
TIME: 10.08
PROGRAM: HBV3
HV* SJ

Tillrinningsvärdena för detta område orsakade speciella problem. Värdena verkade mycket grova och detta förklaras förmodligen till största delen av att Strömsvattnet är ett till ytan mycket stort magasin, varför fel i pegelavläsningarna gör sig ännu mer gällande än i Kultsjön och Malgomaj. Dessutom innefattar området ytterligare ett magasin, Hetögeln - Fågelsjön, av samma storleksordning som Kultsjön. Kvaliten på värdena framgår tydligt av att tillrinningen under flera dagar i följd under vinterrecessionen kan vara negativ. Som exempel kan nämnas att medeltillrinningen för mars 1968 var $-2.7 \text{ m}^3/\text{s}$. För att kunna tolka uppritningarna och genomföra kalibreringen var vi därför tvugna att bilda tredygnsmedelvärden för tillrinningen. En följd av detta blir att man får för låga toppar, men denna effekt borde inte bli alltför stor eftersom tillrinningsförloppet, åtminstone jämfört med Kultsjön och Malgomaj, är relativt dämpat.

Under kalibreringen visade det sig vara svårt att få volymerna att stämma både över den första och den andra fyraårsperioden med samma parameteruppställning. Eftersom vi misstänkte ett homogenitetsbrott i tillrinningsvärdena, koncentrerade vi oss vid kalibreringen på den senare perioden. Detta innebar en fortlöpande underskattning över den första perioden. Antagandet om homogenitetsbrott visade sig vara riktigt, då detta senare bestyrktes av Ångermanälvens vattenregleringsföretag. Man hade gjort vissa förändringar i beräkningsrutinerna.

Tabell. 11. Modellparametrarnas värden för Hetögeln - Ströms Vattudal.

P_{lapse}	=	16 %/100 m
T_{lapse}	=	0.5 °C/100 m
C_{sf}	=	1.12
P_{corr}	=	1.0
C_o	=	2.5 mm/°C · dag
T_o	=	1.0 °C
C_{wh}	=	5 %
F_c	=	150 mm
I_p	=	150 mm
Beta	=	1.0
Perc	=	0.4 mm/dag
K_1	=	5100 l/s · mm
K_2	=	1500 l/s · mm
B_{max}	=	5 dagar
C_{route}	=	$0.7 \cdot 10^{-6}$ dagar /(l/s)

6. KULTSJÖN + MALGOMAJ

6.1 Resultat

Då man på Ångermanälvens vattenregleringsföretag ansåg att tillrinningsvärdena för det sammanlagda tillrinningsområdet till både Kultsjön och Malgomaj var av bättre kvalitet än för Malgomaj enbart, gjordes ett försök att kalibrera modellen för hela området. Resultaten jämfördes sedan med dem som erhöles vid en summering av de tidigare beräknade tillrinningsvärdena med modellen kalibrerad för Malgomaj och Kultsjön var för sig. Vid kalibreringen av det sammanlagda området, som utgör 2971 km², visade det sig snart att en utveckling av modellstrukturen var nödvändig. Vi hade svårt att få recessionsdelen riktig, och tydligt var att tillrinningen för det sammanlagda området bestod av fler komponenter än de två som erhöles med HBV-2 modellen (fig. 1). Vid liknande erfarenheter i ett norskt område (Bergström och Jönsson 1976) hade en ny modellstruktur tillämpats, och denna testades även här. Modellstrukturen under markvattenmagasinet återfinns i fig. 11. och skiljer sig från den tidigare genom att det övre magasinet, då magasinets innehåll överstiger en viss nivå (L_{uz}), ger ytterligare en komponent till avrinningen.

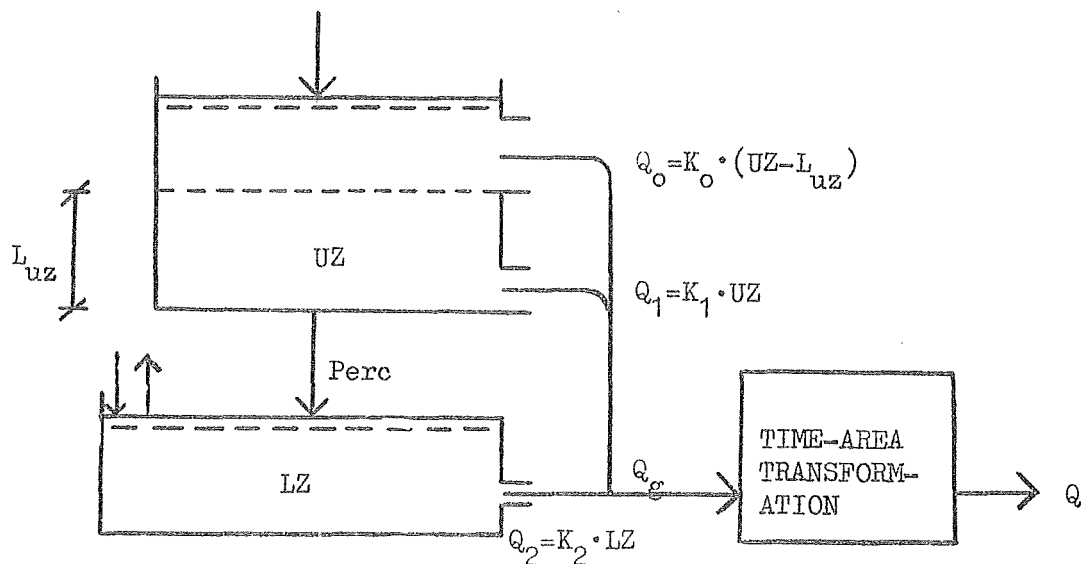


Fig. 11. Strukturen i HBV-3 modellen. (delarna under markvattenmagasinet)

Resultaten uttryckta som R^2 -värden dels med HBV-3 modellen för det sammanlagda området och dels vid summering av tillrinningen med HBV-2 modellen kalibrerad för båda delområdena var för sig, återfinns i tabell 12.

Tabell 12. Resultat i R^2 -värden för området Kultsjön + Malgomaj.

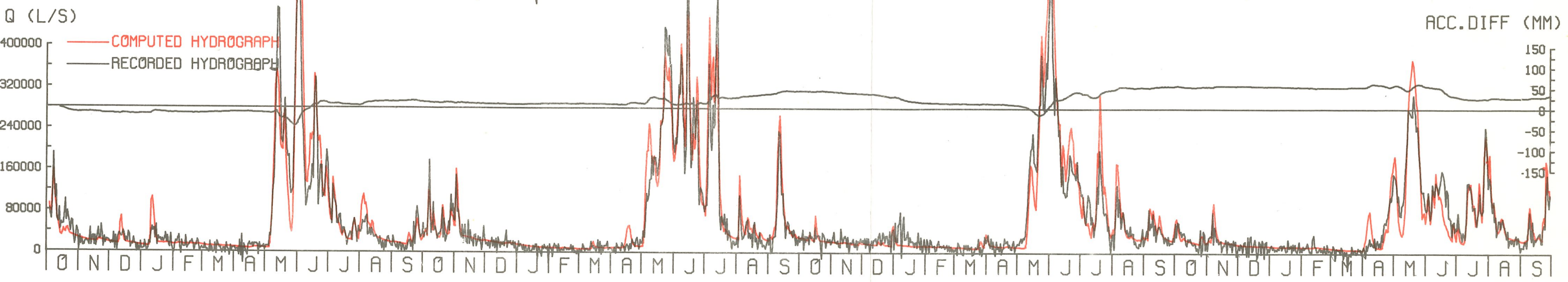
	Modellen kalibrerad för de båda delområdena	HBV-3 modellen tillämpad på hela området
1962 - 1966	0.84	0.82
1966 - 1970	0.88	0.87
1970 - 1974	0.88	0.86

Trots denna förändring i modellstrukturen kunde vi inte erhålla lika bra resultat, som då vi kalibrerat HBV-2 modellen för de två delområdena var för sig. Detta resultat är intressant då det bekräftar vad man skulle kunna vänta sig. Genom att kalibrera delområdena var för sig så ökar vi informationsmängden inte bara då det gäller tillrinningsförloppet i sig och dess komponenter, utan även om övriga delar i modellen då ju tillrinningen vid kalibreringen är utgångspunkten för bestämning av övriga parametrar i markzonen och i snörutinen. Två HBV-2 modeller ger också fyra avrinningskomponenter, medan man i HBV-3 modellen endast har tre.

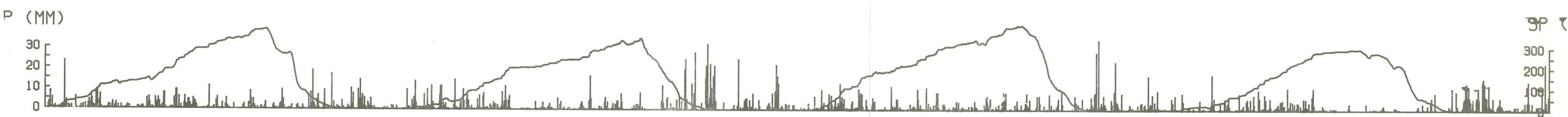
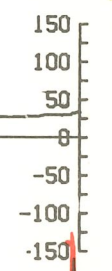
Genom dubbla uppsättningar av parametrar tar man följaktligen större hänsyn till parametrarnas areella fördelning. De båda tillrinningsområdena skiljer sig framför allt genom att inslaget av kalfjäll är betydligt större i Kultsjön (51 %) än i Malgomaj (7 %). Resultaten för den oberoende testperioden med HBV-2 modellen kalibrerad för båda delområdena visas i fig 12.

Fig. 12. HBV-2 modellen tillämpad på Kultsjön + Malgomaj. Modellen kalibrerad för de båda delområdena var för sig. (Följande sida)

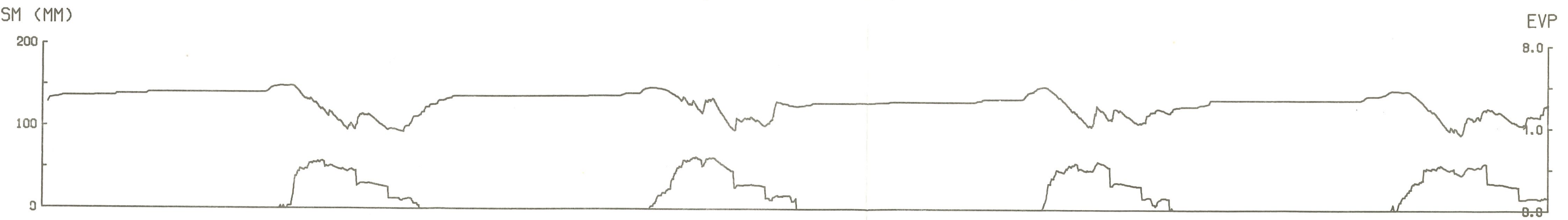
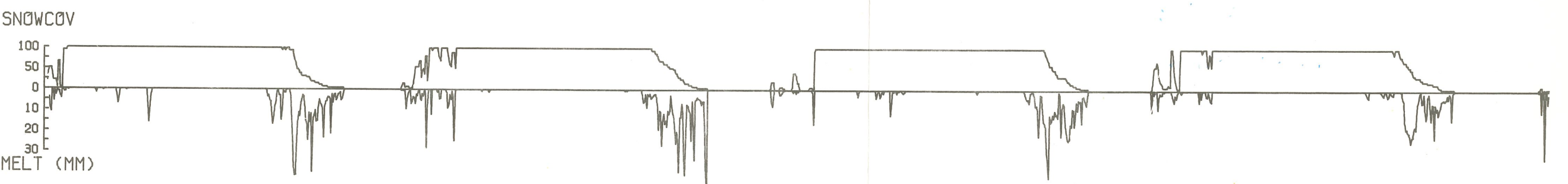
SMHI HBV-3 MALGOMAJ+KULTSJÖN 70.10.01-74.09.30



ACC. DIFF (MM)



SP (MM)



JOB 19 HBV32
 DATE: 751121
 TIME: 12.45
 PROGRAM: HBV32
 HYASB

7. PROGNOSER

Möjligheterna till goda prognoser med modellen är framför allt beroende av fyra faktorer:

1. Kalibreringen av modellen
2. Uppdatering
3. Typ av område (dämpning m.m.)
4. Meteorologiska prognoser på nederbörd och temperatur.

Betydelsen av goda meteorologiska prognoser är intimt förknippad med områdestypen. Olika områden reagerar olika snabbt på nederbörd eller snösmältning. Där tidsfördröjning och dämpning är stor har den meteorologiska prognosen liten betydelse, medan den i ett område som Kultsjön har ett avgörande inflytande. I det förra fallet styrs det framtida förloppet i hög grad av modellens minnen. Modellens olika minnen illustreras i fig. 13, där det också framgår att man kan utnyttja historiska klimatserier för prognoser.

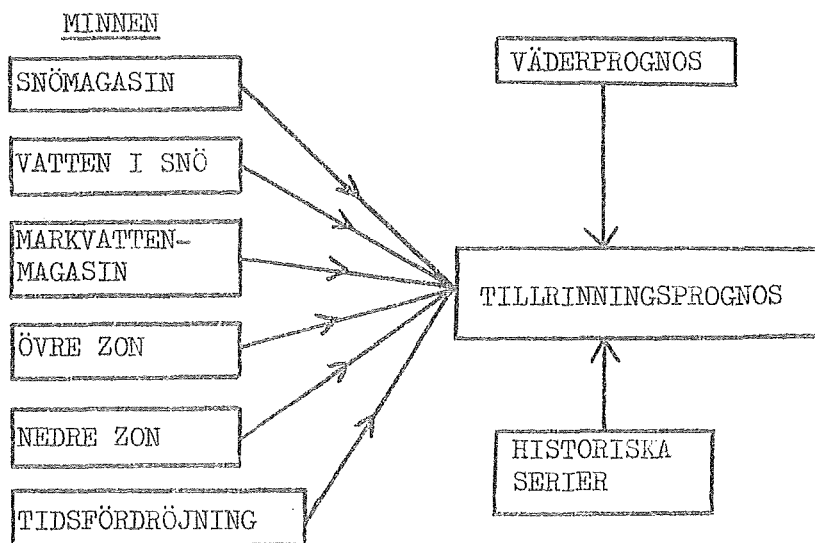


Fig. 13. De olika komponenter som styr en tillrinningsprognos.

Snömagasinets storlek har naturligtvis en avgörande betydelse för vårflödesvolymerna. Vatteninnehållet i snön har en viss inverkan på vårflodens start, då detta måste överstiga en viss procent av snötäckets vattenvärde (5 à 10 %) innan dränering kan ske ner i marken. Markvattenmagasinets fyllnadsgrad avgör hur stor del av ett tillskott som går till avrinning eller fyller på markvattenmagasinet, varifrån det senare kan avdunsta. Markvattenhalten på hösten har således en viss inverkan på vårfloden, eftersom ingen förändring sker under vintern då området är snötäckt. Tillståndet i övre och nedre zonen har liksom tidsfördröjningen ett med områdestypen mycket varierande inflytande på prognosen. Med tidsfördröjning avses den viktning som utförs i tid-area transformationen. Figur 14 är ett exempel på ett dämpat vårflöde i Gimån. Figuren visar modellens beräkningar med fyra olika klimatserier efter att modellen körts med observerade data fram till ett visst datum i vårflodens stigande fas. Den framtida utvecklingen av vårfloden är praktiskt taget förutbestämd av tidigare skeenden.

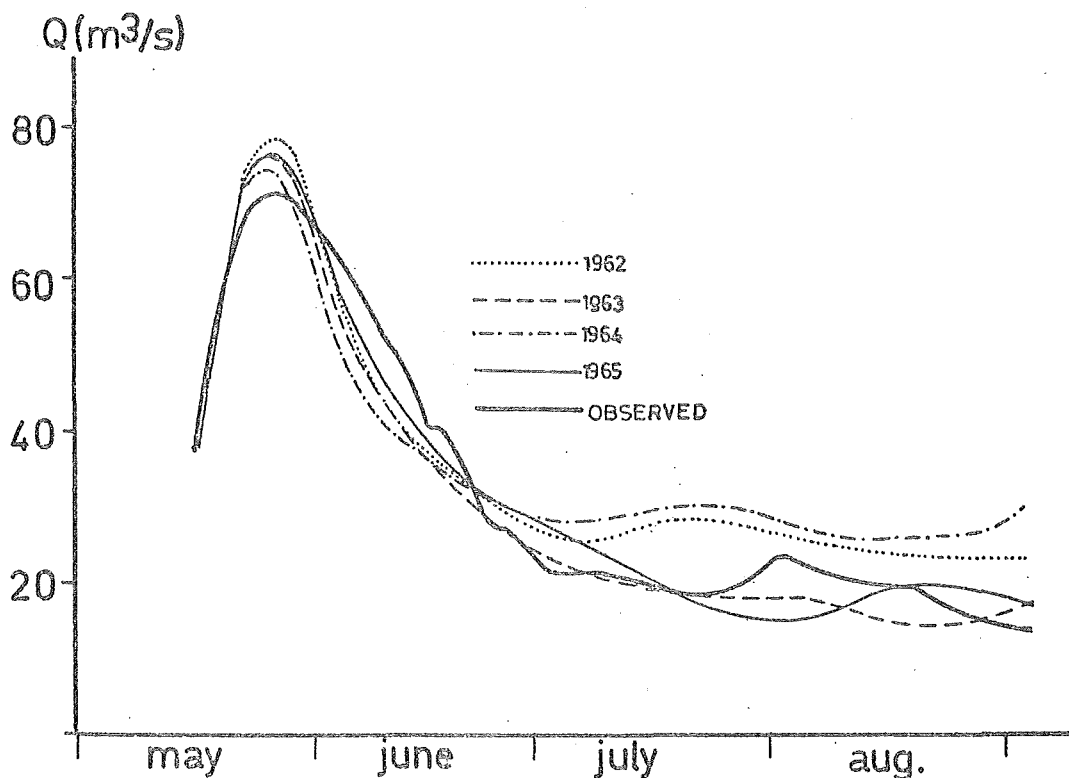


Fig. 14. Dämpat vårflöde i Gimån.

Tillkomsten av en prognos kan indelas i tre faser:

1. Frankörning
2. Uppdatering
3. Prognos

7.1 Uppdatering

Om man efter frankörning till aktuell prognosdag finner att den beräknade tillrinningen avviker alltför mycket från den observerade är det nödvändigt att före prognosen göra uppdatering. Någon helt automatisk rutin för detta torde vara svårt att finna då problemet är av mycket olika karaktär vid olika tillfällen. Den rutin vi använder är ~~mycket~~ enkel och innebär att vi korrigerar indata under en viss period. Av uppräkningarna med datorns plotter bedömer vi vilka korrektioner av nederbörd och/eller temperatur som är nödvändiga. Programmet beräknar tillrinningen för den senaste tiden upprepade gånger och söker finna storleken av de korrektioner som ger den bästa anpassningen med tonvikt på det sista värdet. Om vi ej gjort någon uppdatering där sådan var nödvändig, skulle detta innebära att vi startat prognosen med felaktiga värden i våra magasin. Med andra ord, modellens minnen skulle ge en felaktig effekt på prognosen. Därför är också betydelsen av uppdatering större där minnet har stort inflytande på den framtida utvecklingen.

7.2 Korttidsprognoser

Korttidsprognoser utfördes i efterhand för Kultsjön på vårflödet 1975 och det höga regnflödet i september samma år. Underlag var de ordinarie meteorologiska femdygnsprognoser som levererades vid de aktuella tidpunkterna. Resultaten visas i fig. 15 (vårflödet) och fig. 16 (höstflödet).

De meteorologiska prognoserna är gjorda för Storlien ca 25 mil från Kultsjön och naturligtvis skulle bättre precision kunna fås om prognoser utvecklades för en mera närliggande station.

Speciellt gäller detta nederbördsprognoserna då korrelationen mellan dygnsnederbörd för närliggande stationer är betydligt mindre än för dygnsmedeltemperatur. Allmänt kan också sägas att det är lättare att göra prognoser på temperatur än på nederbörd. Detta återspeglas även i resultaten där prognoserna under vårfloden, då snösmältning är den viktigaste komponenten, är betydligt bättre än för höstflödet. Följande kommentarer till figurerna kan göras:

Fig. 15. Prognoser på tillrinningen till Kultsjön våren 1975.

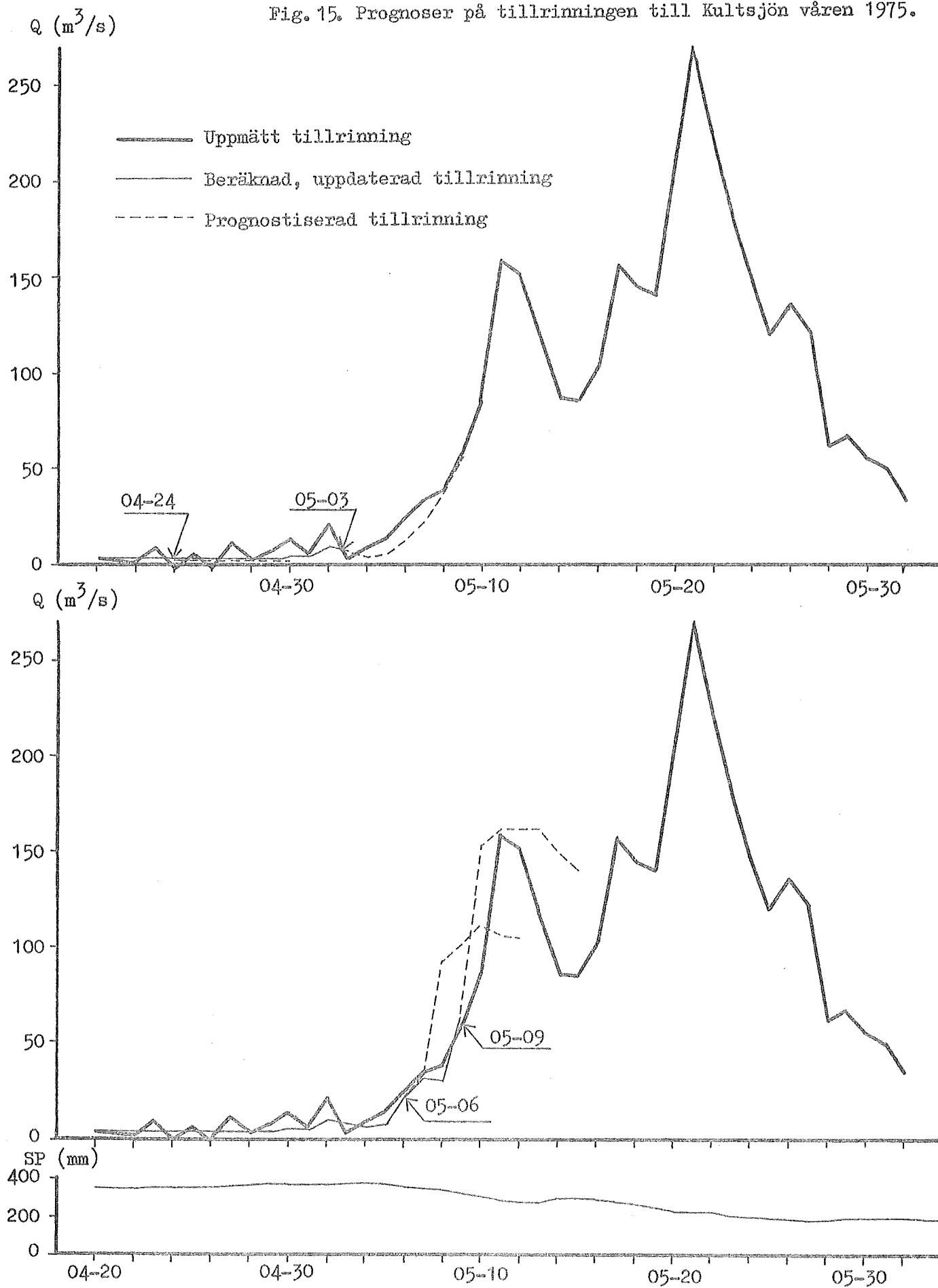


Fig.15. Forts.

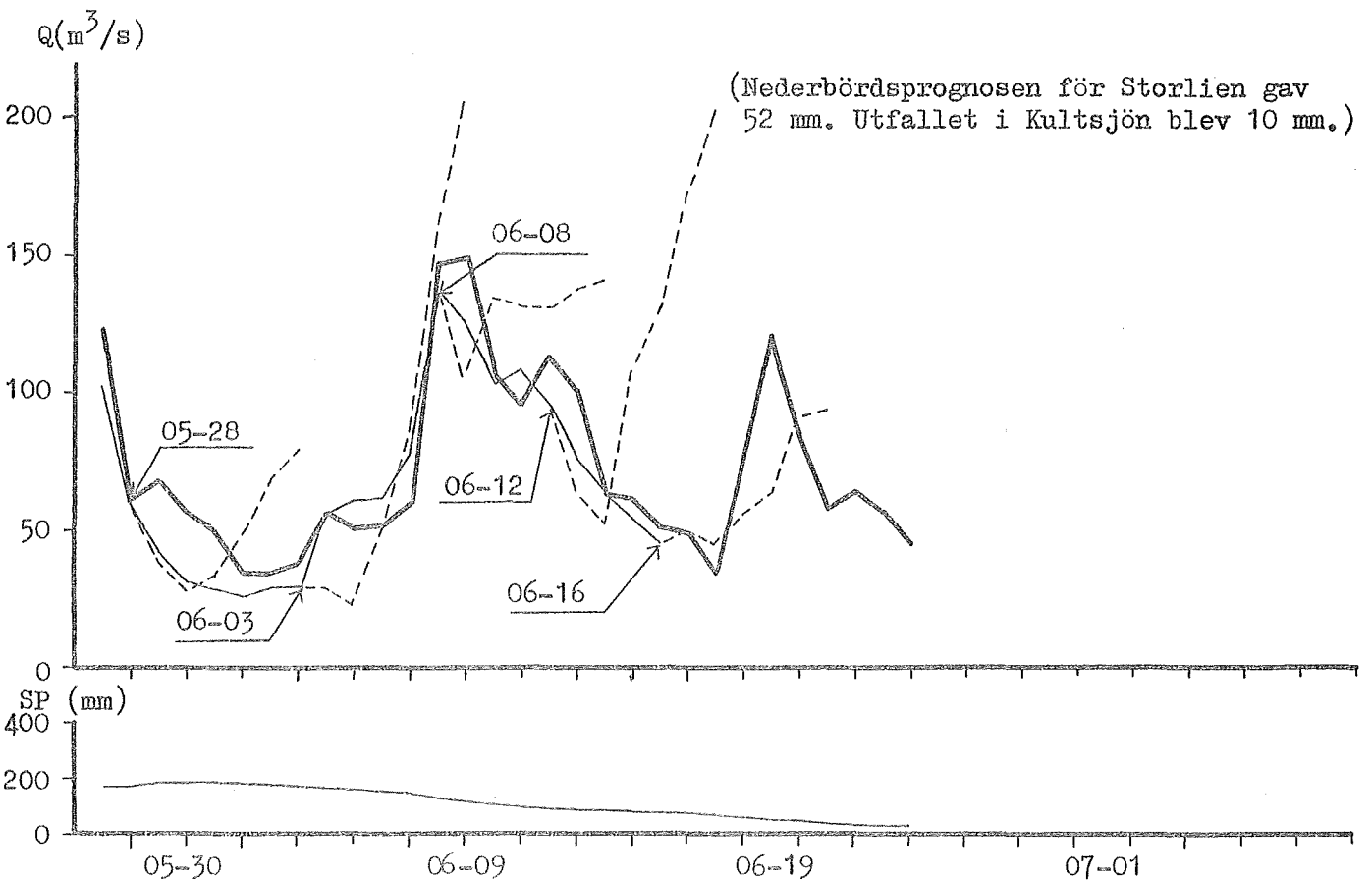
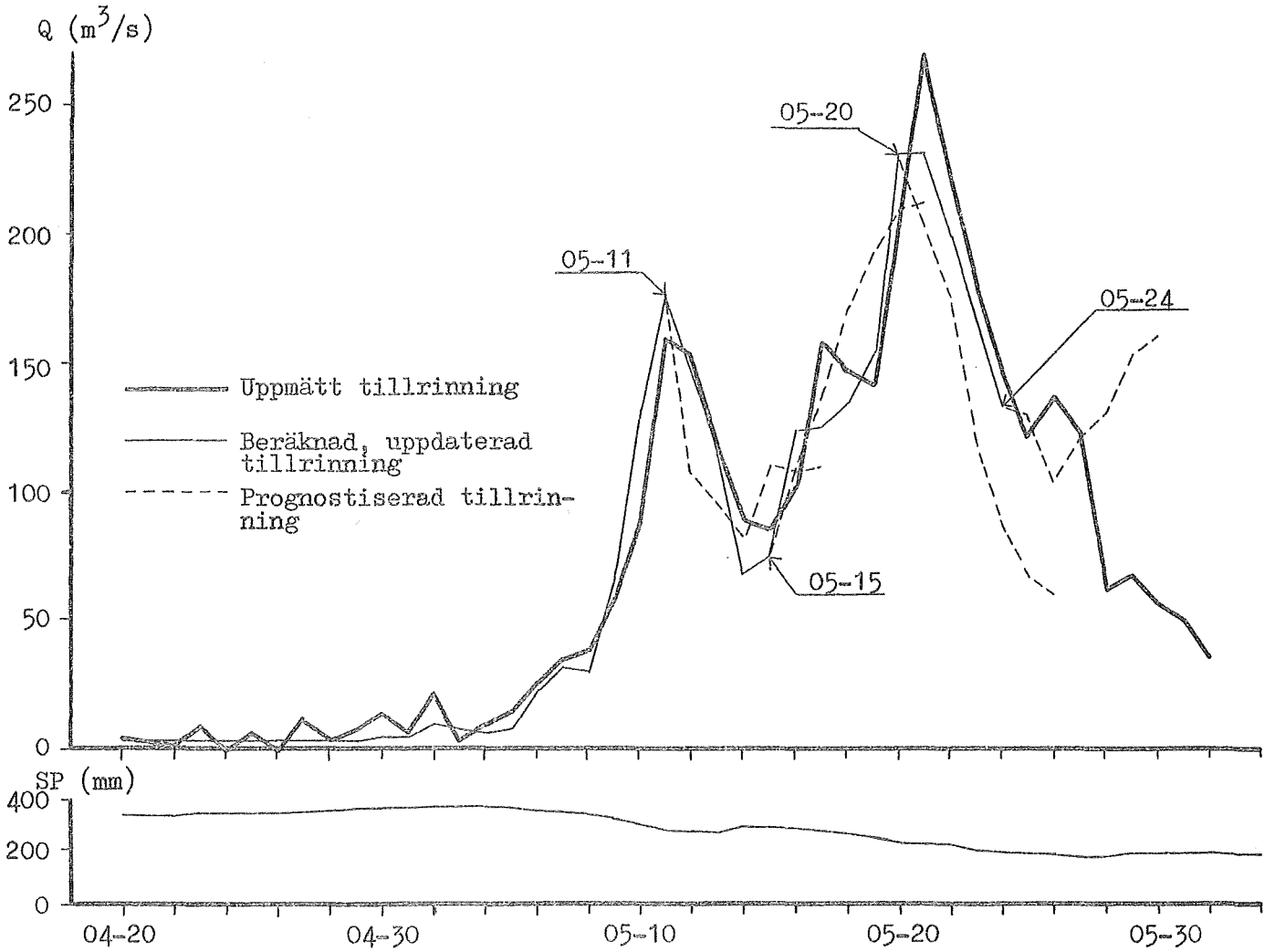
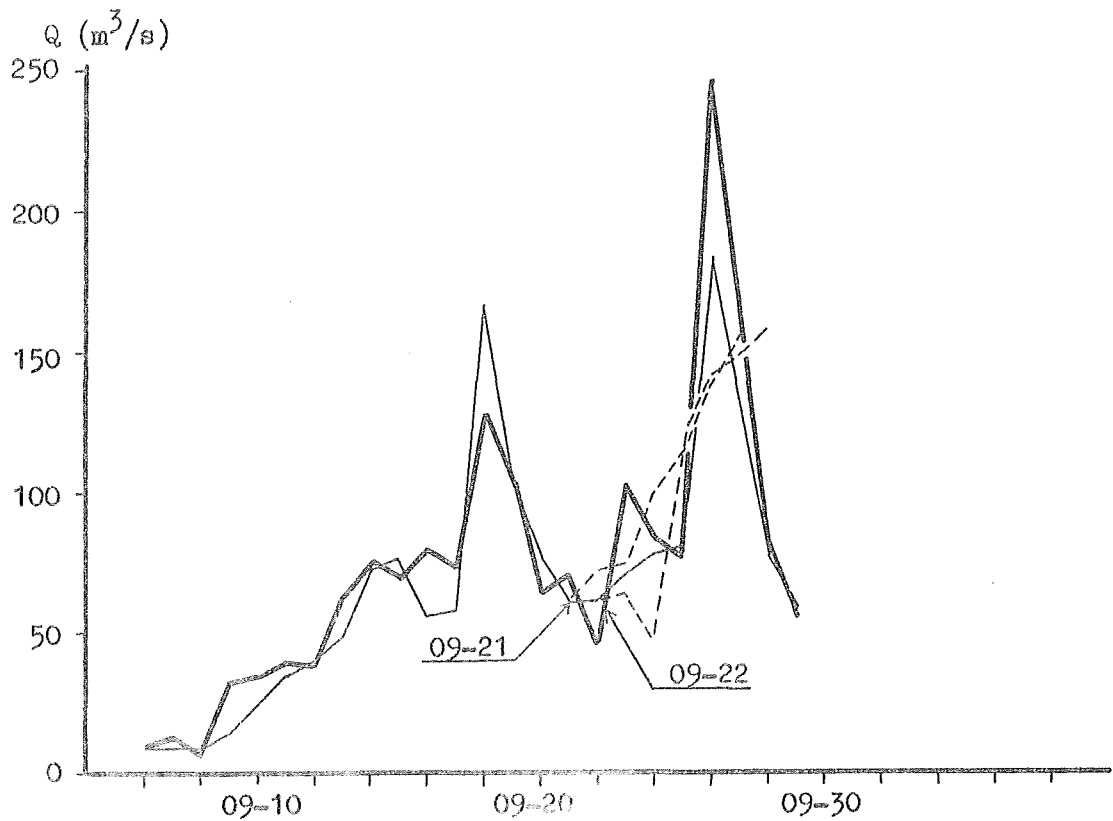
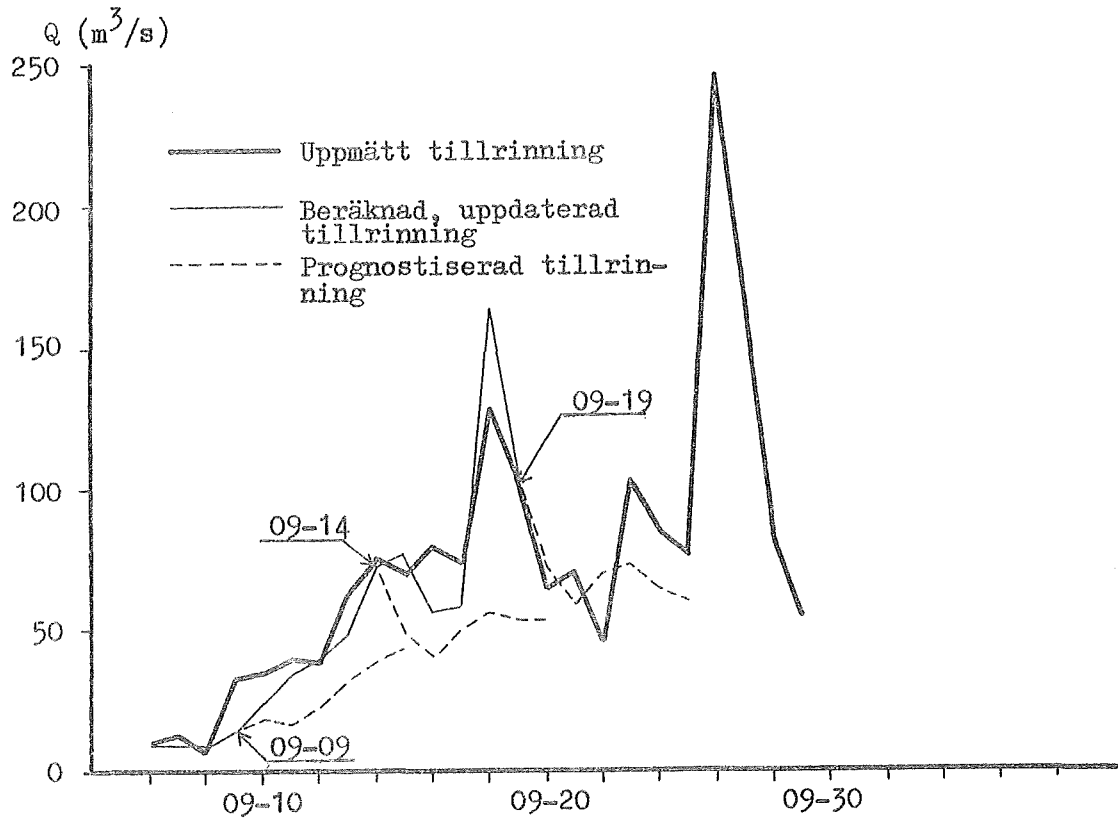


Fig. 16. Prognoser på tillrinningen till Kultsjön hösten 1975.



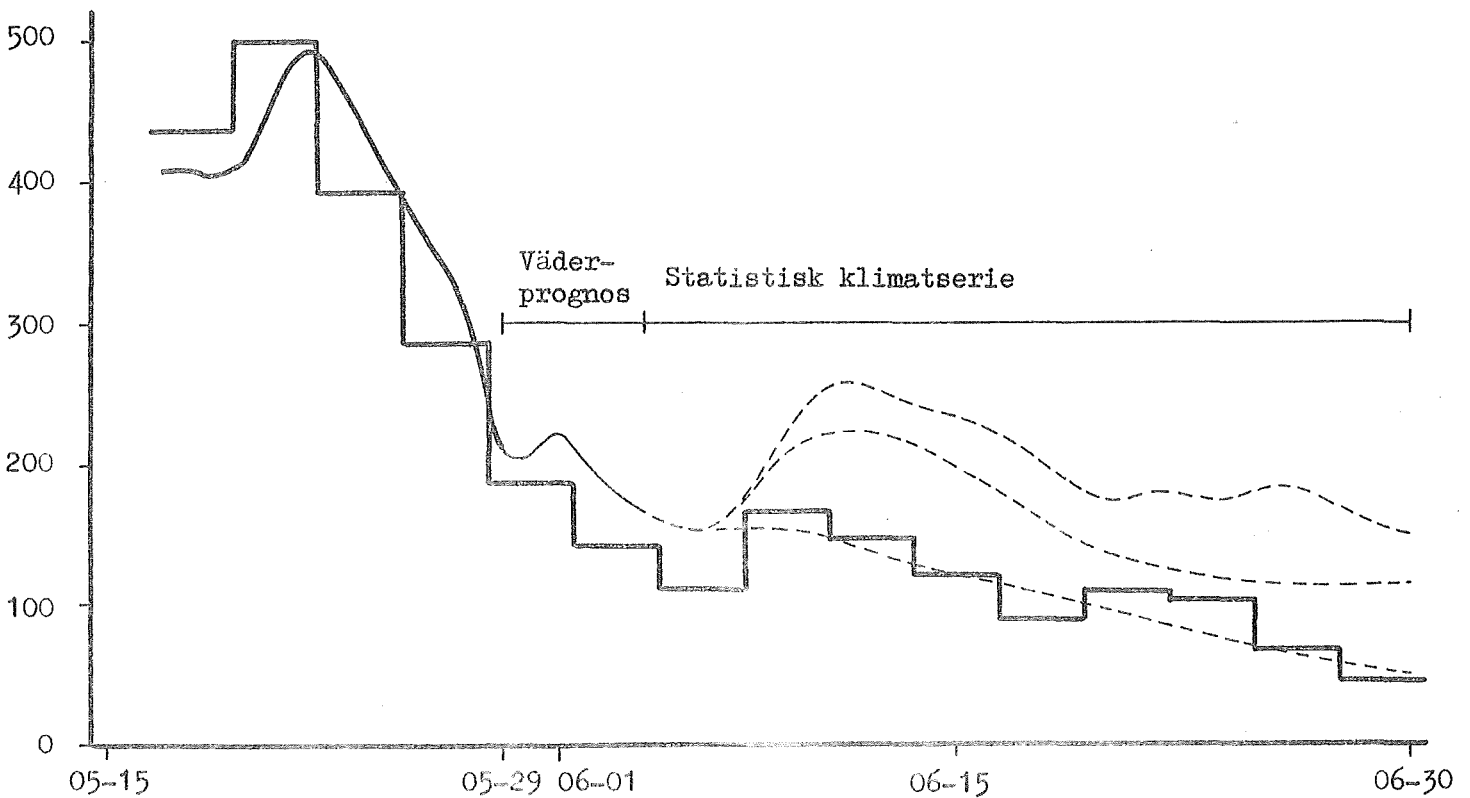
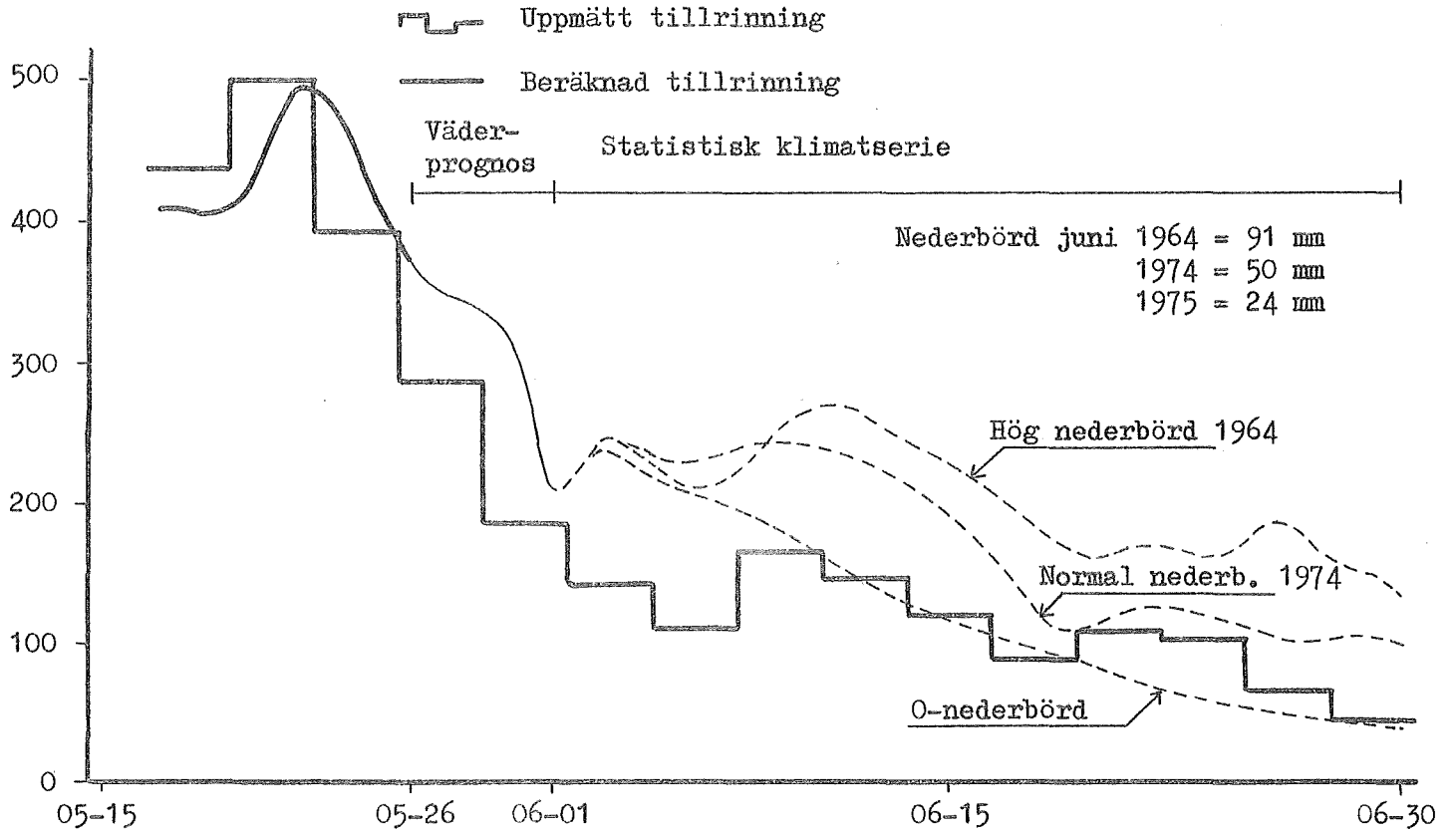
1. Vårflodens start tidsbestäms ganska bra. Prognosen gjord 05-03.
2. De två följande prognoserna beskriver väl det allmänna mönstret med en flödestopp som avbryts, även om den i prognosen förutspås något för tidigt.
3. Prognoserna 05-11 och 05-15 är i det närmaste fullträffar. Prognosen 05-20 ger ett snabbt fall i tillrinningen. Detta kommer också men en dag senare.
4. Den största missen 06-12 är en följd av att nederbördsprognosen för Storlien säger 52 mm för perioden, medan utfallet i Kultsjön endast var 10 mm.
5. Den första toppen i höstflödet (fig. 16) missas helt i prognosen, medan det andra och största flödet förutspås redan 09-21, även om prognosen inte ger lika höga värden som de uppmätta. Det kan tilläggas att nederbörds mängderna under höstflödet var svåra att förutsäga beroende på de meteorologiska förhållanden som rådde. Ett nederbördsområde passerade på gränsen till Kultsjöns tillrinningsområde.

7.3 Långtidsprognoser

Under våren 1975 levererades de första prognoserna på tillrinningen till Hetögeln - Ströms Vattudal. Vårfloden hade just kulminerat och prognoser gjordes vid två tillfällena i recessionen av denna. Femdygnsprognos erhöles från SMHI:s meteorologer och därefter beräknades tillrinningen med två historiska klimatserier med hög respektive normal nederbörd samt med nederbörden lika med noll för den återstående tiden fram till 30 juni (fig. 17). För temperatur användes medelvärden för 30 år.

Femdygnsprognosen ger i båda fallen för höga värden, och detta påverkar naturligtvis även den fortsatta utvecklingen. Överskattningen beror i det första fallet till stor del på för höga temperaturvärden, men vid båda tillfällena hade en noggrannare uppdatering förbättrat resultaten. Något speciellt program för uppdatering fanns emellertid inte vid tillfället för prognoserna varför en ganska grov korrigerings gjordes.

Fig. 17. Prognos på tillrinningen till Hetögelns - Ströms Vattudal våren 1975.



Modellen användes för att göra vårflödesprognoser för Hetögeln - Ströms Vattudal i efterhand för de senaste fyra åren. Prognoseerna gjordes vid sex olika tidpunkter på våren (1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 16/5 och 1/6) för kvarvarande tillrinning t.o.m. juli. Efter uppdatering vid prognosens startdatum beräknades tillrinningen med elva års klimatserier för den aktuella prognosperioden. En jämförelse mellan medelvärdet av dessa elva prognosresultat och de ordinarie prognoser som utförs vid SMHI med en regressionsmetod som utnyttjar uppmätt nederbörd från oktober fram till prognostillfället, visar att metoderna ger ungefär likvärdiga resultat. I Hetögeln - Ströms Vattudal reagerar tillrinningen relativt snabbt på nederbörd (smältning) varför modellens minnen (förutom snömagasinet) åtminstone för de längsta prognoserna har liten inverkan. Jämför Gimån (fig. 14) där vårflodens framtida utveckling praktiskt taget är förutbestämd av tidigare händelser. De ordinarie prognoserna görs endast vid de fyra första prognostillfällena, dvs. 1/2, 1/3, 1/4 och 1/5. Den relativa betydelsen av modellens minnen ökar ju kortare prognosperioden blir och eventuellt ger modellen bättre resultat än regressionsmetoden skulle ha gett för de två sista prognostillfällena. Man kan dock inte dra några definitiva slutsatser om vilken metod som är bäst, då de utnyttjar olika nederbördsstationer och då man vid bestämningen av regressionskoefficienterna använder upp till 30 års serier. Vissa praktiska fördelar kan den större flexibiliteten med en modell erbjuda, när man väl har den kalibrerad för ett område. Regressionskoefficienterna måste bestämmas för varje enskild prognosperiod, medan man med modellen lätt kan göra en ny prognos närhelst man så önskar. Dessutom, om prognosen görs t.o.m. 31 juli, så får man samtidigt en prognos till vilket datum som helst före 31 juli.

I fig. 18. redovisas resultaten av vårflödesprognoseerna. Varje stapel representerar ett prognostillfälle i ovan nämnd följd för varje år. Volymen ges i dygnsenheter ($1 \text{ DE} = 1 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{dag}$). Båda metoderna ger en avsevärd underskattning av vårfloden 1972. Detta är en följd av extremt stora nederbörds mängder i juli detta år, varför en stor del av vårflödesvolymen är resultat av nederbörd som ej ackumulerat som snö under vintern.

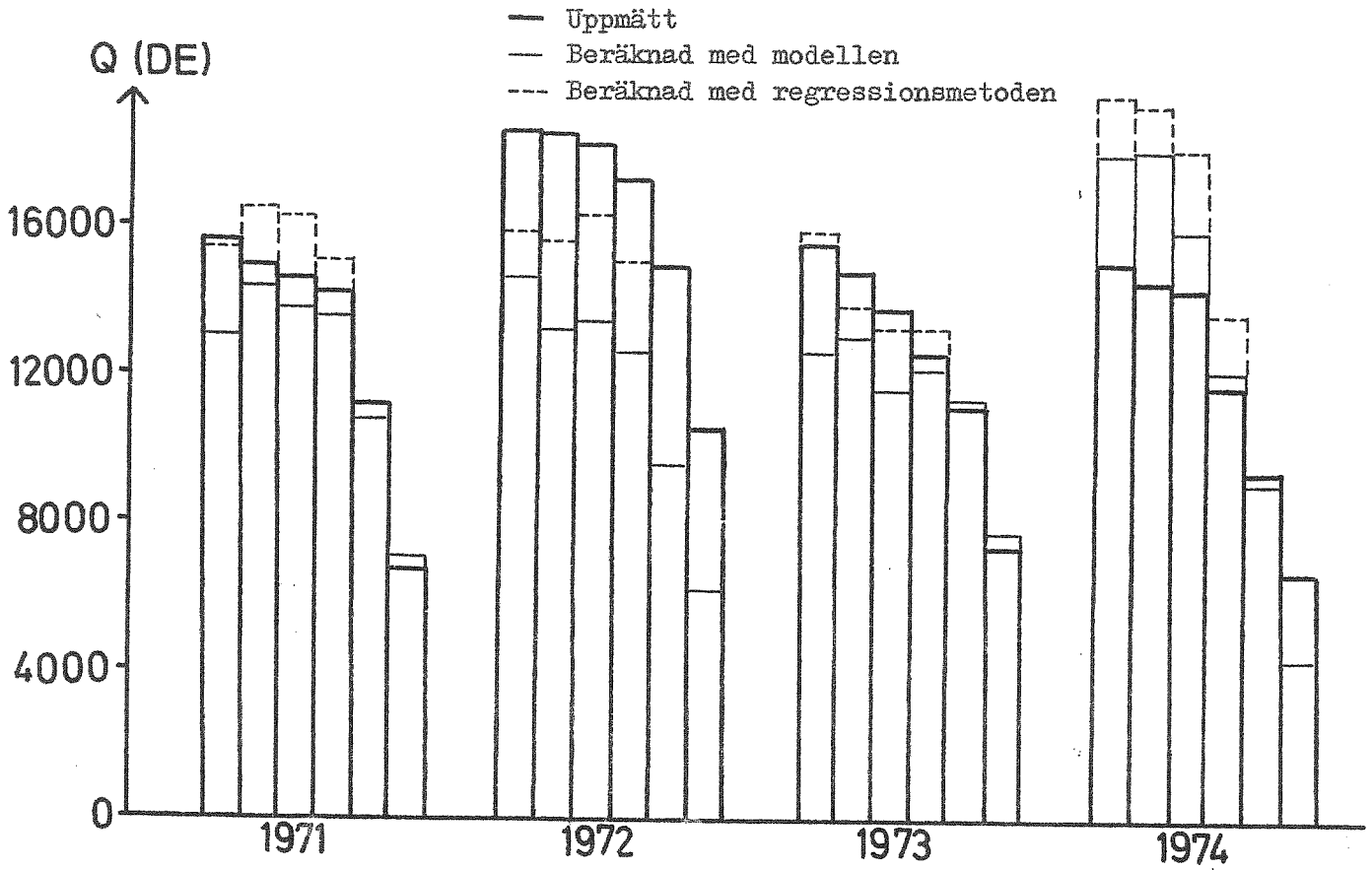


Fig. 18. Vårflödesvolymprognoser med modellen resp. ordinarie regressionsmetod för Hetögeln - Ströms Vattudal.

Referenser

Bergström, S och Forsman, A. Development of a conceptual deterministic rainfall - runoff model. Nordic Hydrology 4. 1973.

Bergström, S. The development of a snow routine for the HBV-2 model. Nordic Hydrology 2. 1975.

Bergström, S och Jönsson, S. Calibrating and testing a reservoir inflow model - A case study. SMHI, HBV Memo No 157, 1975.

Bergström, S och Jönsson, S. The application of the HBV runoff model to the Filefjäll research basin. SMHI, Rapporter Hydrologi och ocanografi Nr RHO 5, 1976.

Wallén, C C. Nederbörden i Sverige, medelvärden 1901 - 1930. SMHI, meddelanden Ser. A Nr 4, 1951.

Wallén, C C. Global solar radiation and potential evapotranspiration in Sweden, SMHI, meddelanden Ser B Nr 24, 1966.

Nash, J E och Sutcliffe, J V. River flow forecasting through conceptual models: Part I - A discussion of principles. J. Hydrology 10, 1970.

HYDROLOGISKA BYRÅN, HB RAPPORTER

Nr

1. Hydrologiska undersökningar i Kassjöans repr. område
Meddelande nr III
Vattenomsättningen i Lilla Tivsjöns område 1966/67-1972/73
av A Waldenström
Stockholm 1974
2. Hydrologiska undersökningar i Lappträskets repr. område
Meddelande nr IV: Nederbörd och vattenomsättning
av M Persson
Stockholm 1974
3. Oceanografiska observationer i Östersjön 1973 med kust-
bevakningens båtar samt från isbrytare
av U Ehlin & B Juhlin
Stockholm 1974
4. Oceanografiska undersökningar i Ålands Hav
Meddelande nr I: Mätningar juni-september 1973
av U Ehlin & C Ambjörn
Stockholm 1974
5. Verification of Heated Water Jet Numerical Model
by James G Weil
Stockholm 1974
6. Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa
område. Meddelande nr V. Markvattenstudier
av T Milanov
Stockholm 1975
7. Hydrologiska undersökningar i Lappträskets repr. område
Meddelande nr VI: Vattenomsättningen 1968-73 med felupp-
skattning
av M Persson
Stockholm 1975
8. Hydrologiska undersökningar i Kassjöans repr. område
Meddelande nr IV. Snötaxering 1974 och vattenomsättning
1969-73
av A Waldenström
Stockholm 1975
9. Snösmältningen i en punkt som funktion av meteorologiska
data
av Stig Jönsson
Stockholm 1975
10. Oceanografiska undersökningar i Ålands Hav
Meddelande nr 2: Mätningar okt-dec 1973 och juli-sep 1974
av U Ehlin och C Ambjörn
Stockholm 1975
11. Oceanografiska observationer i Östersjön 1974 med kust-
bevakningens båtar samt från isbrytare
av U Ehlin och B Juhlin
Stockholm 1975

Nr

12. Vattenomsättning och flöde i Stormyra-området av Lennart Liljequist och Lars Sterner
Stockholm 1975
13. Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område. "Avrinningen och dess variationer inom området". Norrköping 1976. Sh M Persson
14. Vattenomsättningsstudier m.m. i Velens och Kassjöans representativa områden.
Norrköping 1976. Hydr. A Waldenström
15. Strömmätningar i sundet mellan Värmlandssjön och Dalbosjön, Vänern. Vänernundersökningen, meddelande nr 1 av B Carlsson + M Brandt. Norrköping 1976
16. Oceanografiska observationer i Östersjön 1975 med Kustbevakningens båtar samt från isbrytare av U Ehlin + B Juhlin. Norrköping 1976.
17. Oceanografiska undersökningar i Ålands Hav 1975
Meddelande nr 3. Mätningar 74-75. Vattentransporter.
U Ehlin + C Ambjörn. Norrköping 1976
18. Tillämpning av HBV-2 modellen på regleringsmagasin Ångermanälven. Sten Bergström + Stig Jönsson
Norrköping 1976

