

**Institutionen för Vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola**

**Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology**

Den hydrologiska modellen NAM

**Kalibreringsperiodens inverkan på
modellparametrar och verifieringsresultat**

av

Ann-Marie Gustafsson

**Examensarbete
Nr 1992:4**

Göteborg 1992

**Address: Department of Hydraulics
 Chalmers University of Technology
 412 96 GÖTEBORG**

Telephone: 031-772 10 00

FÖRORD

Examensarbetet är utfört vid Institutionen för Vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

Arbetet har utförts på VBB VIAK/Ledningsförnyelse i Göteborg.

Handledare för examensarbetet har varit Sven Lyngfelt, Institutionen för Vattenbyggnad, samt Lars-Göran Gustafsson, VBB VIAK/Ledningsförnyelse.

Ett stort TACK riktas till mina suveräna handledare!!

Göteborg november 1992

Ann-Marie Gustafsson

SAMMANFATTNING

Då de verkliga flödesförhållandena i avloppssystem studeras, konstateras ofta flödestoppar vid nederbörd som vida överstiger vad som kan förklaras med direkt anslutna hårdgjorda ytor. Detta fenomen benämns vanligen indirekt nederbördspåverkan, INE. INE skiljer sig från den direkta nederbördspåverkan, DNE, genom att den inte enbart är beroende av den aktuella nederbörden utan till stor del påverkas av den hydrologiska situationen. Därmed blir flödesökningen för ett visst regn annorlunda beroende på om perioden före regnet varit blöt eller torr. Orsaken till INE kan exempelvis vara ledningsläckage och felkopplingar. Speciellt vid volymsstudier, såsom tillrinning till reningsverk och bräddvolymmer, kan INE-effekterna ofta ha en avgörande betydelse.

För att kunna beskriva de flödesfenomen som uppstår vid INE krävs ett beräkningsverktyg som kan hantera det sk minnet från tidigare hydrologiska händelser, dvs en mer generell hydrologisk modell än vad som används vid traditionell datorsimulering av flöden i avloppssystem. Den sk NAM-modellen är en sådan modell.

NAM-modellen har hittills använts för ett 40-tal urbana avrinningsområden med varierande storlek. Samtliga dessa tillämpningar har visat på mycket goda resultat, vilket indikerar att denna metodik på ett trovärdigt sätt kan hantera indirekt nederbördspåverkan.

Syfte med genomförd studie

Syftet med detta examensarbete har varit att undersöka hur valet av kalibreringsperiod påverkar modellparametrarna samt modellens trovärdighet vid simulering av en längre oberoende period som inte har påverkat valet av parametervärden, en sk validering. Modellen kan anses vara trovärdigt verifierad då valideringen uppvisar ungefär motsvarande överensstämmelse som för kalibreringen samtidigt som överensstämmelsen är godtagbar med avseende på det användningsområde som modellen är avsedd för. Syftet har också varit att visa hur mycket flödesstatistik och meteorologisk statistik som är nödvändig för att kunna utföra en trovärdig simulering av en godtycklig period.

Studien har genomförts på Ryaverkets avrinningsområde, Göteborg. Ryaverket är det centrala avloppsreningsverket för hela Göteborgsregionen och har ett totalt avrinningsområde på 212 km².

Strategi för genomförande

För att få en god bredd på olika tänkbara typer av kalibreringsperioder har sju olika perioder valts med varierande längd och hydrologisk beskaffenhet.

Validering har utförts mot en oberoende period för att beskriva modellens trovärdighet efter kalibrering mot en viss typ av period.

Samtliga kalibreringar och valideringar har dels utvärderats genom visuell jämförelse av hydrograferna, dels med hjälp av ett antal grafiska och numeriska verifieringskriterier.

Slutsatser

Studien visar att en generell rekommendation vad gäller kalibreringsperiodens längd på mellan 3 och 5 år bör vara rimlig för att säkerställa trovärdiga parametervärden.

Det kan dock konstateras att också kalibrering mot kortare perioder kan ge godtagbara resultat, även om detta inte säkerställer en optimal verifiering.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	sida
FÖRORD	i
SAMMANFATTNING	ii
1. BAKGRUND	1
1.1 Allmänt	1
1.2 Syfte med genomförd studie	2
1.3 Beskrivning av NAM-modellen	2
1.3.1 Allmänt	2
1.3.2 Modellstruktur	3
1.3.3 Modellparametrar	4
1.3.4 Indata till modellen	6
2. STUDERAT AVRINNINGSOMRÅDE	7
2.1 Områdesbeskrivning och modellformulering	7
2.2 Flödesdata	8
2.3 Meteorologiska data	9
3. STRATEGI FÖR GENOMFÖRANDE	12
3.1 Övergripande strategi	12
3.2 Kalibreringsmetodik	13
3.3 Utvärderingsmetodik	16
4. RESULTAT	22
5. SLUTSATSER	31
REFERENSER OCH ÖVRIG LITTERATUR	33
BEGREPPSFÖRKLARINGAR	34
APPENDIX 1 Kalibreringsresultat i diagramform	
APPENDIX 2 Valideringsresultat i diagramform	

1. BAKGRUND

1.1 Allmänt

Vid traditionell datorsimulering av flöden i överbelastade spillvattennät är det svårt att beskriva sk indirekt nederbördspåverkan, INE. INE-påverkan kännetecknas av att flödet sakta avklingar under flera dygn efter regnets slut samt att flödet starkt påverkas av den hydrologiska situationen. Därmed blir flödesökningen för ett visst regn annorlunda beroende på om perioden före regnet har varit blöt eller torr. Se ref. /3/.

Ett helt nytt tillvägagångssätt har testats, ref. /7/, där den icke-urbana avrinningsmodellen, NAM, används för att hantera snösmältningsfenomen och magasineringseffekter i marken, det sk hydrologiska minnet. NAM-modellen är utvecklad av Dansk Hydraulisk Institut, Danmark, ref. /4/.

NAM-metodiken bygger på att ett avrinningsområde beskrivs med ett antal hydrologiska modellparametrar vilka beskriver ytavrinning, infiltration, grundvattenflöde, markvattenhalt etc. Modellen kalibreras mot flödesstatistik där en så god överensstämmelse som möjligt mellan uppmätt och beräknat flöde eftersträvas.

Tekniken har hittills använts för ett 40-tal avrinningsområden av varierande storlek. Samtliga dessa tillämpningar har visat på mycket goda resultat, vilket indikerar att denna metodik på ett trovärdigt sätt kan hantera indirekt nederbördspåverkan.

NAM bedöms få stor betydelse för att mer verklighetstroget kunna beskriva flödessituationen i INE-påverkade avloppsnät, uppskatta årliga bräddmängder samt prognostisera flöden till reningsverk. Se även ref. /3/.

För att föra ut denna teknik i praktisk användning har det bedömts som angeläget att en fördjupad studie av NAM-modellens egenskaper och alternativa formuleringar av modellstrukturen utförs.

Detta arbete har påbörjats inom ramen för ett licentiatarbete vid Institutionen för Vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg. En del av arbetet innefattar en noggrann undersökning av kalibreringsperiodens betydelse. Det här examensarbetet har som syfte att utföra denna undersökning.

1.2 Syfte med genomförd studie

Syftet är att undersöka hur valet av kalibreringsperioden påverkar modellparametrarna samt modellens trovärdighet vid simulering av en längre oberoende period, en sk validering.

Syftet är också att visa hur mycket flödesstatistik och meteorologisk statistik som är nödvändig för att kunna utföra en trovärdig simulering för en godtycklig period. Exempelvis kan en kort kalibreringsperiod uppvisa en mycket god överensstämmelse mellan beräknat och uppmätt flöde medan ett efterföljande test mot en helt annan period kan uppvisa mycket dålig överensstämmelse. Ett sådant beteende erhålls då ett otillräckligt material har använts vid kalibreringen.

Studien har genomförts på Ryaverkets avrinningsområde, Göteborg. Ryaverket är det centrala avloppsreningsverket för hela Göteborgsregionen och har ett totalt avrinningsområde på 212 km².

1.3 Beskrivning av NAM-modellen

1.3.1 Allmänt

NAM-modellen är en matematisk hydrologisk modell och består av ett antal kopplade matematiska ekvationer som beskriver beteendet hos vattnets kretslopp i marken.

Med NAM-modellen kan en beskrivning göras av tillrinningen till en viss punkt genom att storleken och karaktären på fyra, olika djupt förlagda, magasin beskrivs. Genom hela beräkningsprocessen tar modellen hänsyn till vatteninnehållet i de fyra olika ömsesidigt beroende magasinerna vilka representerar fysikaliska element av avrinningsområdet.

Indata till modellen är nederbörd, potentiell avdunstning och temperatur. På basis av dessa beräknas bl a avrinning, grundvattennivåer, relativ markvattenhalt och grundvattenflöde.

Det är viktigt att notera att NAM-modellen skapar en tillrinningshydrograf i en viss punkt och inte beskriver de hydrauliska processerna inne i avloppsledningarna. Flödet som genereras uppströms denna punkt hanteras dock av modellen oavsett om det finns ett omfattande avloppsnät uppströms eller ej. Således kan ett helt avrinningsområde till exempelvis ett reningsverk, inkl ett helt avloppsnät, hanteras med ett geografiskt NAM-område.

NAM-modellen beräknar det totalt genererade flödet inom avrinningsområdet, dvs eventuell bräddning kommer att inkluderas i det beräknade flödet. Detta beroende på att NAM inte kan beskriva de hydrauliska processerna i avloppsledningar.

1.3.2 Modellstruktur

NAM behandlar varje delområde som en enhet. Parametrarna och variablerna representerar därför medelvärden för hela delområdet.

NAM är baserad på dels fysikaliska och dels, till viss del, erfarenhetsmässiga ekvationer, se ref. /4/. Vissa av parametrarna kan uppskattas från fysiska områdesdata, men den slutliga uppskattningen måste göras genom kalibrering av simulerade värden mot verkliga händelser, se vidare kapitel 3.2.

Modellstrukturen, som är en förenklad beskrivning av vattnets kretslopp i marken, magasinerar vattnet i fyra magasin:

- snömagasinet
- ytmagasinet
- rotzonsmagasinet
- grundvattenmagasinet

Nederbörden som passerar genom snömagasinet styrs av temperaturförhållanden.

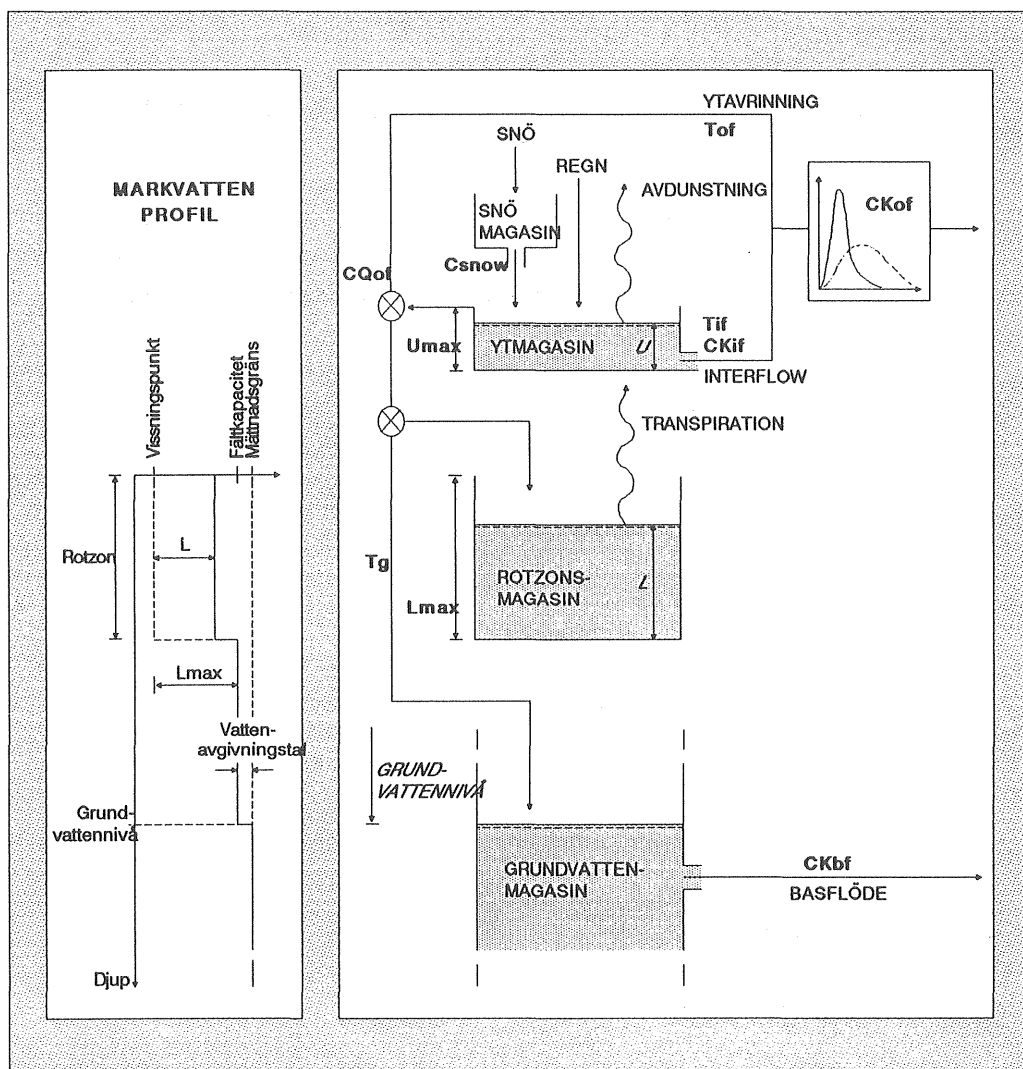
Fukt på vegetation samt vatten uppsamlat i håligheter på markytan och i det översta jordlagret är beskrivet som ett ytmagasin.

Markvattenhalten i rotzonen, ett marklager nedanför markytan från vilket vegetationen kan suga vatten för transpiration, är beskrivet som ett magasin i en nedre markzon, rotzonsmagasinet.

Mängden vatten i ytmagasinet avtar kontinuerligt, dels genom avdunstning och dels genom horisontell vattenströmning i det översta marklagret (interflow). När ytmagasinet är fullt kommer en viss del av det överflödiga vattnet att avrinna via ytavrinning och resten via infiltration till rotzonsmagasinet och grundvattenmagasinet.

Mängden vatten i rotzonsmagasinet avtar genom rotsugning till transpiration. Det relativa vatteninnehållet i rotzonsmagasinet styr mängden vatten som förs vidare till grundvattenmagasinet. Andra vattentransporter som påverkas av vatteninnehållet i rotzonsmagasinet är exempelvis ytavrinning och transpiration.

Modellens uppbyggnad visas i **figur 1.1**.



Figur 1.1 NAM-modellens struktur.

1.3.3 Modellparametrar

Nedan följer en kort beskrivning av de viktigaste modellparametrarna och deras fysikaliska tolkning. Se vidare ref. /4/.

Avrinningsområde

- A [km²]

Storleken på det område som avleder vatten till den punkt där flödet skall simuleras.

Magasineringskapacitet

- U_{max} , L_{max} [mm]

Definierar det maximala vatteninnehållet i yt- och rotzonsmagasin.

Värdet på U_{max} skall åskådliggöra att ytmagasinet representerar interceptionsmagasinet (magasinet för

nederbörd som fastnar i vegetationen), hålligheterna i markytan samt de översta centimetrarna av marken.

L_{max} kan tolkas som den maximala markvattenhalt i rotzonen som är tillgänglig för rotsugning till vegetationens transpiration (avdunstningen från inre ytor i vegetationen).

L_{max} kan, i renodlade områden, uppskattas genom att multiplicera skillnaden mellan fältkapacitet och vissningspunkt för den aktuella jordtypen med det effektiva rotdjupet. L_{max} representerar dock medelvärden för hela avrinningsområdet, medel för olika jordtyper och rotdjup för olika vegetationstyper. Därför kan L_{max} i praktiken inte uppskattas från fältdata. Ett förväntat intervall kan dock uppskattas.

Ytavrinningskoefficient

- CQ_{of}

CQ_{of} bestämmer hur stor del av avrinningen (efter att ytmagasinet är fullt) som skall avrinna som ytavrinning och infiltration.

En rumslig förenklad fysikalisk tolkning är att parametern skall åskådliggöra infiltrationen inom ett område.

Större värden på CQ_{of} kan förväntas för områden med lågpermeabel jord, såsom lera etc, samt områden med mycket tunnt jordlager, såsom berg i dagen etc. Mindre värden kan förväntas för flacka områden med grovsandiga jordar och en stor omättad zon.

Tidskonstant för ytavrinning

- CK_{of} [tim]

Tidskonstanten bestämmer hur snabbt flödet reagerar vid nederbörd. Tidskonstanten påverkar till viss del även flödet av interflow.

Tidskonstant för interflow

- CK_{if} [tim]

Tidskonstanten bestämmer tillsammans med U_{max} mängden interflow. Denna tidskonstant dominerar påverkan av flödet från interflow då CK_{if} i normala fall är mycket större än CK_{of} .

Tidskonstant för basflöde

- CK_{bf} [tim]

Tidskonstanten bestämmer flödets avklingning under torrperioder.

Tröskelvärden

- Tof, Tif, Tg [%] Påverkar avrinningen så att det inte genereras ytavrinning, interflow respektive påfyllning av grundvattenmagasin förrän det relativa vatteninnehållet i rotzonen, L/L_{max} , överstiger Tof, Tif respektive Tg.

Graddagskoefficient

- C_{snow} [mm/C/dygn] Parametern styr tömningen av snömagasinet. Högre värde ger snabbare tömning. Tömning sker när temperaturen överstiger noll grader Celsius.

1.3.4 Indata till modellen

Erforderliga indata till NAM-modellen är följande:

- modellparametrar, se ovan samt kapitel 3.2
- startbetingelser
- meteorologiska data
- uppmätt avrinning för studerat avrinningsområde

Startbetingelserna består av vatteninnehållet i magasinen, värden på interflow och ytavrinning samt grundvattendjupet vid starten för simuleringen.

I både kalibreringsfasen och övriga simuleringar med NAM är det viktigt att startbetingelserna är rimliga. En uppskattning av startbetingelserna kan ofta erhållas från tidigare utförda simuleringar, som täcker några år. Detta genom att notera normalvärden på vatteninnehållet i rotzonsmagasinet och grundvattendjupet vid den tidpunkt på året då den nya simuleringen skall starta.

För att eliminera påverkan av felaktiga startbetingelser rekommenderas dock att man bortser från resultaten för ungefär ett halvt till ett år i början av en simulering.

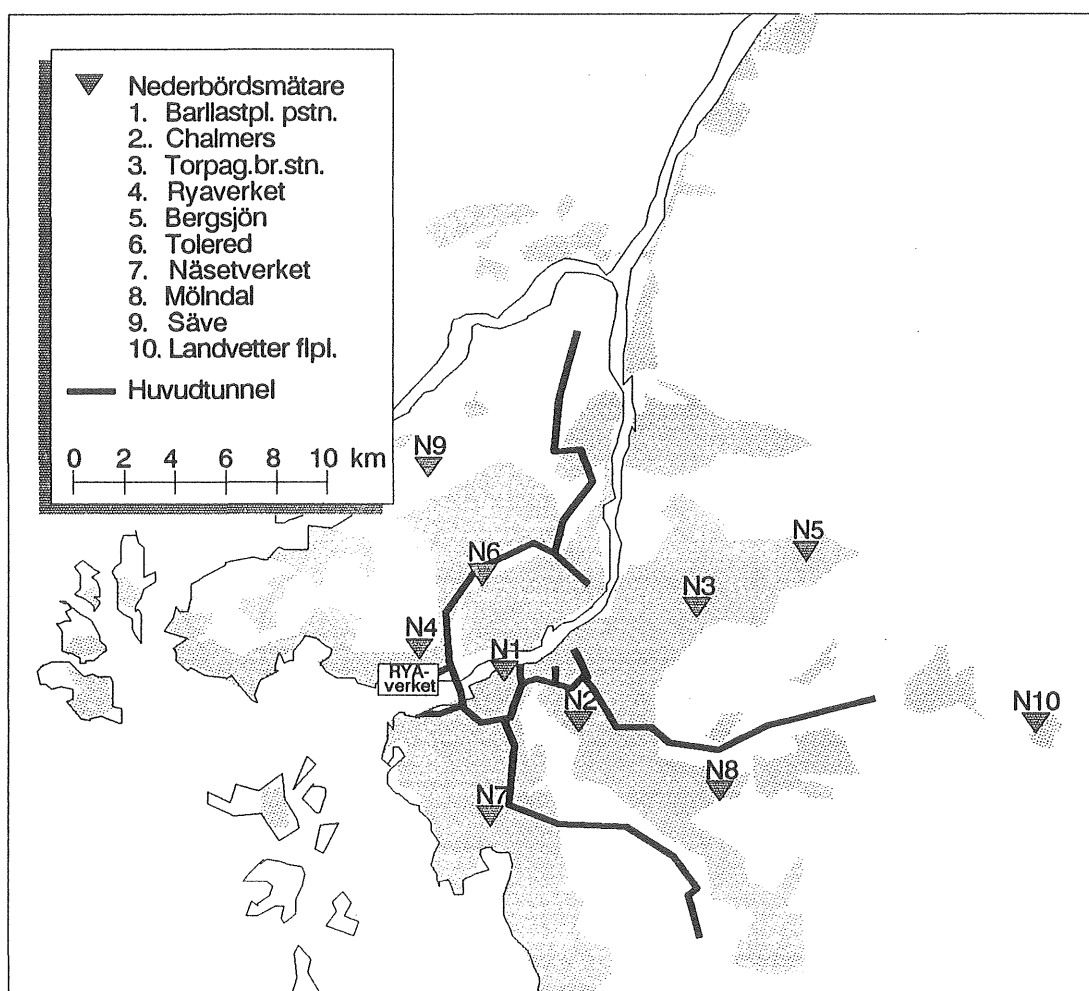
Erforderliga meteorologiska data är nederbörd, potentiell avdunstning och temperatur. Tidsupplösningen bör återspegla avrinningshastigheten i det område som skall simuleras. Detta gäller även temperaturen under snöperioder. För avdunstningen är månadsvärden ofta en tillräcklig tidsupplösning.

NAM-modellen beräknar den nederbördsberoende flödeskomponenten. Både vid kalibrering och övrig simulering ska därför övriga flödeskomponenter som inte är nederbördsberoende hanteras speciellt, t ex spillvattenflöde.

2. STUDERAT AVRINNINGSOMRÅDE

2.1 Områdesbeskrivning och modellformulering

Modellområdet omfattar Ryaverkets avrinningsområde, se **figur 2.1**, dvs hela Göteborgsregionen, ca 212 km², varav ca 22 km² är hydrologiskt oberoende ytor, i huvudsak direktanslutna hårdgjorda ytor.



Figur 2.1 Modellområdet - Ryaverkets avrinningsområde.

De centrala delarna av området har ett kombinerat avloppssystem (både dag- och spillvatten i samma ledning) medan de perifera delarna, i huvudsak, har ett duplikat eller separat avloppssystem.

Det ytliga avloppsnätet är anslutet via borrhål till ett omfattande tunnelsystem, ca 120 km långt, som sträcker sig under hela Göteborg från Landvetter i öster, Lindome i söder och Kungälv i norr. Den totala volymen i tunnelsystemet är ca 1.000.000 m³. Avloppsvattnet pumpas från tunneln upp till Ryaverket där det tas om hand för rening. Se vidare ref. /9/.

Med hänsyn till flödeskomponenternas hydrologiska funktion har följande modellansats gjorts:

- Den hydrologiskt beroende avrinningen, dvs indirekt nederbördspåverkan med hydrologiskt minne samt läck- och dräneringsvatten, har simulerats med ett delområde i NAM-modellen, (delområde 1).
- Den hydrologiskt oberoende avrinningen, i huvudsak avrinningen från direktanslutna hårdgjorda ytor men även indirekt nederbördspåverkan utan hydrologiskt minne, har simulerats med ett delområde i NAM-modellen, (delområde 2).

Modellparametrarna för modellområde 2 har valts så att endast ytavrinning sker. Den totala ytan har satts till 22 km², tidskonstanten CKof har satts till 7 timmar, graddagskoefficienten har satts till 5 mm/C/d och den totala magasinstorleken till 0.6 mm.

Dessa parametervärden har valts med ledning av tidigare utförda modellstudier på Ryaverkets avrinningsområde av VBB VIAK/Ledningsförnyelse. Parametrarna har därför inte justerats vid någon av de genomförda beräkningarna.

- Spillvattenkomponenten adderas som en flödestidsserie till summan av avrinningen från de två delområdena i NAM.

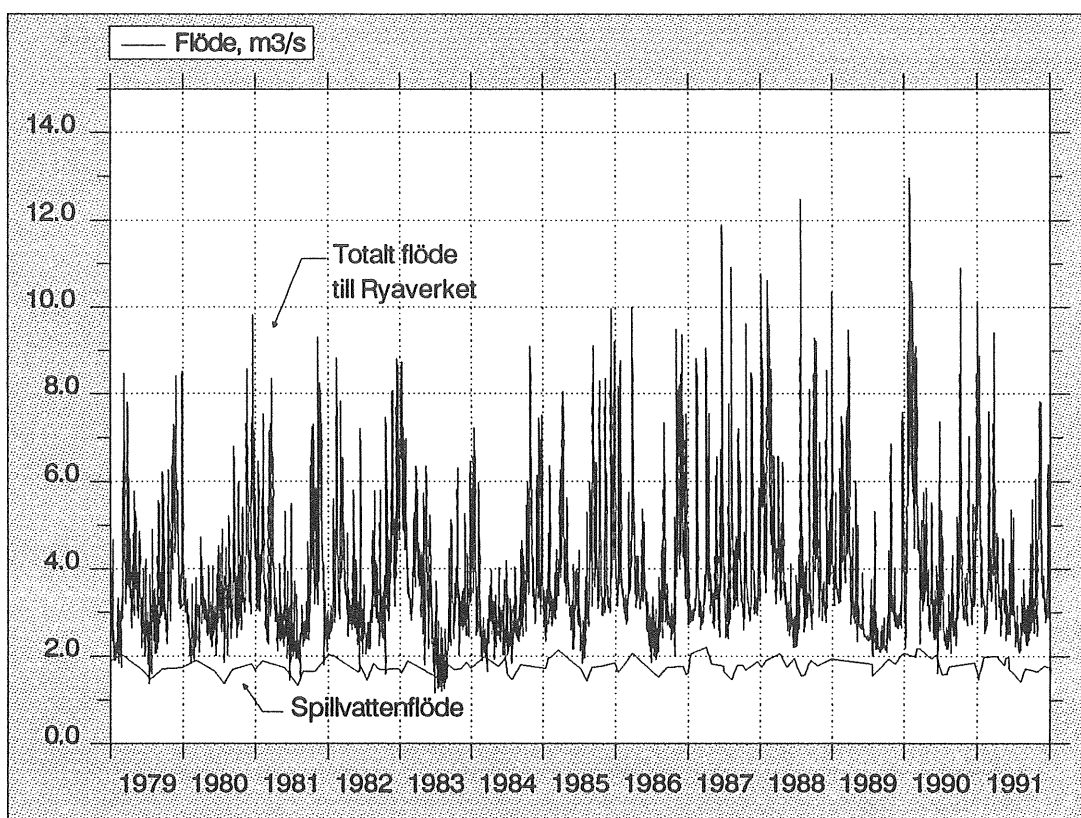
Observera att de två delområdena skall ses som ett geografiskt NAM-område. Indelning i två delområden har endast utförts för att kunna beskriva flödeskomponenternas olika hydrologiska funktion, hydrologiskt oberoende respektive beroende avrinning.

2.2 Flödesdata

Kalibreringar och valideringar har utförts mot uppmätt pumpat flöde till Ryaverket. Härvid har dygnsmedelflöde använts vid valideringen och 12-timmarsmedel vid kalibreringen.

Spillvattenflödet har uppskattats från veckovärden på levererad renvattenmängd, som har viktats mot den totala årligen debiterade vattenmängden inom hela Ryaverkets avrinningsområde.

Flödesdata har använts för åren 1979-1991, se **figur 2.2**. Den årliga tillrinningsvolymen till Ryaverket var i medeltal 117.5 Mm³ för åren 1979-1991, varav 55.4 Mm³ var spillvattenvolym.



Figur 2.2 Flödesdata för åren 1979-1991.

2.3 Meteorologiska data

Vid simulering av avrinningen från ett så stort avrinningsområde som detta är naturligtvis nederbördens areella fördelning en mycket viktig faktor. Nederbördsuppgifter har hämtats från 10 olika stationer, se **figur 2.1**, nämligen Barlastplatsens pumpstation (1), Chalmers Tekniska Högskola (2), Torpagatans brandstation (3), Ryaverket (4), Bergsjön (5), Tolered (6), Näsetverket (7), Mölndal (8), Säve (9) och Landvetter flygplats (10). Härvid har 12-timmarsvärden använts från Säve för perioden fram t o m september 1987 och från Ryaverket för perioden fr o m oktober 1987. För övriga stationer har dygnsvärden använts. Data från stationerna har viktats enligt Thiessens metod, ref. /10/. Vikterna framgår av **tabell 2.1**.

Nederbördsstationerna Mölndal, Säve och Landvetter flygplats sköts av SMHI. Dessa stationer har korrigerats för mätfel enligt SMHIs anvisningar, se ref. /5/. Övriga stationer sköts av VA-verket, Göteborg, se ref. /8/. Korrektionsfaktorerna framgår av **tabell 2.2**.

I **tabell 2.3** ges en sammanställning över den korrigerade årsnederbörden för respektive nederbördsstation och år.

Den potentiella avdunstningen har beskrivits med normalvärden för respektive månad för Torslanda enligt SMHI (Penmans formel för gräs enligt Eriksson), se **tabell 2.4**.

Temperaturvärden (kl 10.00 och 22.00) har hämtats från SMHI:s klimatstation vid Säve.

Tabell 2.1: Vikter, [%], för respektive nederbördsstation och delområde.

Vikter för:	Nstn 1	Nstn 2	Nstn 3	Nstn 4	Nstn 5	Nstn 6	Nstn 7	Nstn 8	Nstn 9	Nstn 10
Omr 1	4	7	13	8	19	14	17	11	5	2
Omr 2	17	16	18	10	13	15	4	5	1	1

Tabell 2.2: Korrektionsfaktorer för respektive nederbördsstation.

Nstn	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Korr	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,17	1,22	1,17

Tabell 2.3: Korrigerad årsnederbörd, [mm], för respektive nederbördsstation och år.

År	Nstn 1	Nstn 2	Nstn 3	Nstn 4	Nstn 5	Nstn 6	Nstn 7	Nstn 8	Nstn 9	Nstn 10
-79	949	980	955	835	906	-	823	1066	1053	1177
-80	867	887	839	779	876	-	780	966	1002	1024
-81	913	975	859	769	946	-	810	1030	1009	1122
-82	922	1003	941	822	1057	-	831	1163	991	1245
-83	880	975	878	825	972	-	779	1133	953	1200
-84	817	858	811	747	882	845	744	883	1006	1100
-85	1053	1058	1070	939	1101	1031	828	1218	1184	1355
-86	906	993	935	800	1085	922	782	979	1003	1192
-87	965	1000	968	926	1060	1010	801	1100	1071	1182
-88	1102	1166	1141	1010	1192	1096	965	1261	1137	1288
-89	738	767	756	669	809	732	620	831	787	966
-90	1041	1122	1033	980	1179	1087	996	1232	1199	1580
-91	801	848	838	744	934	823	748	955	917	1147

Tabell 2.4: Potentiell avdunstning, [mm], normalvärden för respektive månad för Torslanda. Totalt 633 mm/år.

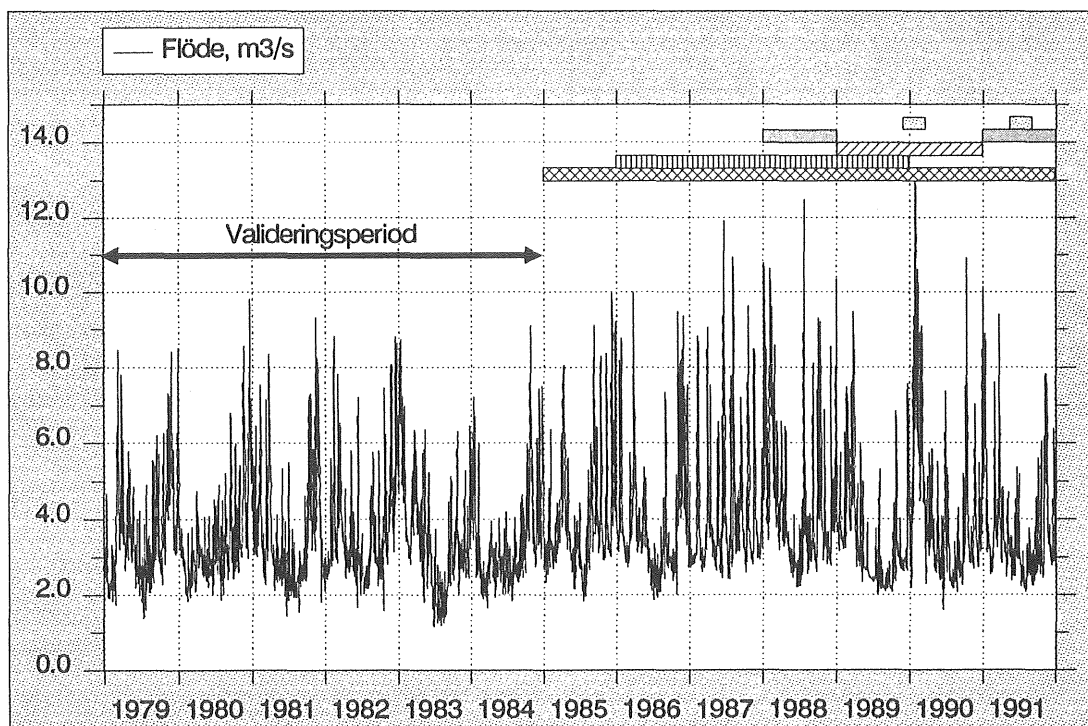
Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
6	11	28	57	97	122	119	94	57	26	11	5

3. STRATEGI FÖR GENOMFÖRANDE

3.1 Övergripande strategi

För att få en god bredd på olika tänkbara typer av kalibreringsperioder, både vad gäller längd och typ av hydrologisk situation, har följande perioder valts som kalibreringsperioder, se även **figur 3.1**:

1. 1991 05 01 - 1991 08 31	4 månader	torrperiod
2. 1991	1 år	torrperiod
3. 1989 12 01 - 1990 04 01	4 månader	blötperiod
4. 1988	1 år	blötperiod
5. 1989 - 1990	2 år	
6. 1986 - 1989	4 år	
7. 1985 - 1991	7 år	



Figur 3.1 Valda kalibreringsperioder samt vald valideringsperiod.

Kalibrering har utförts mot en period i taget. Efter varje kalibrering har modellen testats mot en oberoende period, sk validering, vilken ej användes för kalibreringen och alltså inte påverkade valet av parametrar. Metodiken kallas för ett split sample test och har rekommenderats för beskrivning av en modells beteende i ett flertal sammanhang, se ref./2/. I detta fallet har alltså upprepade split sample test genomförts, där perioden 1979-1984 genomgående har använts för valideringen.

Validering har genomförts för att beskriva modellens trovärdighet, dvs modellens möjlighet att simulera en godtycklig period med god överensstämmelse, efter kalibrering mot en viss typ av period enligt ovan.

Modellen kan anses vara trovärdigt verifierad då valideringen uppvisar ungefär motsvarande överensstämmelse som för kalibreringen samtidigt som överensstämmelsen är godtagbar med avseende på det användningsområde som modellen är avsedd för.

Vid samtliga beräkningar har tidssteget 4 timmar använts. Därefter beräknades vid kalibreringen 12-timmarsmedelvärden och vid valideringen 24-timmars medelvärden.

För att eliminera påverkan av felaktiga startbetingelser har samtliga simuleringar påbörjats ca ett år innan aktuell kalibrerings- eller valideringsperiod.

3.2 Kalibreringsmetodik

Det är inte möjligt att bestämma NAM-parametrarna på basis av geofysiska mätningar då de flesta av parametrarna är av erfarenhetsmässig karaktär. Det är därför nödvändigt att uppmätt avrinning från studerat område finns tillgänglig så att NAM-parametrarna kan bestämmas genom att jämföra simulerat och uppmätt flöde vid en kalibrering.

Den inledande kalibreringen har utförts grafiskt genom visuell jämförelse av simulerad och uppmätt avrinning. Den slutliga finoptimeringen av parametrarna har sedan utförts med hjälp av olika numeriska och grafiska verifieringskriterier, se kapitel 3.3.

Då variationen av vatteninnehållet i yt- och rotzonsmagasinet styr många av de övriga processerna, har dessa studerats under hela kalibreringsprocessen.

Parametrarna är nedan nämnda i den ordningsföljd som de justerats. Dock har det i vissa fall varit nödvändigt att dels gå tillbaka till ett tidigare kalibreringssteg, dels gå igenom parametrarna ett antal gånger. Vid samtliga kalibreringar har endast en parameter i taget justerats, detta för att tydligt visa effekten av en viss parameterjustering.

1. Det första steget vid en NAM-kalibrering är vanligen att justera vattenbalansen i systemet, dvs överensstämmelsen mellan beräknad och uppmätt total volym under hela den studerade perioden. Detta görs genom att korrigera arean, A.
2. Därefter ställs ytavrinningskoefficienten, CQof, in så att fördelningen av volym mellan ytavrinning (flödestoppar) och basflöde blir korrekt. Detta görs efter blötperioder samt helst under en period med låg avdunstning. Se dock

kommentar om bräddning nedan. En minskning av CQ_{of} ger minskad ytaavrinning och ökad infiltration vilket därmed också medför ett ökat basflöde.

3. **CK_{bf}** justeras mot responsen på basflödet, dvs uppbyggnad samt avklingning av basflödet. Justering mot uppbyggnad av basflödet görs under och efter blötperiod med låg avdunstning. Justering mot avklingningen görs i början av torrperioder med hög avdunstning, helst då flödet endast utgörs av basflöde.

En justering av CK_{bf} påverkar inte avrinningsvolymens storlek sett under en lång period, däremot förskjuts volymerna i tiden.

4. **CK_{of}** justeras mot responsen, formen på flödestopparna. Detta görs under perioder med kraftig nederbörd, helst efter en blötperiod. Se dock kommentar om bräddning nedan.
5. En minskning av **U_{max}** ger en minskad avdunstning vilket resulterar i en ökad avrinning under perioder med hög avdunstning. Effekten blir störst under perioder som föregåtts av en blötperiod. Dels erhålls en ökad ytaavrinning, dels förs mer vatten till grundvattenmagasinet vilket resulterar i ett ökat basflöde, dock med en viss fördröjning på grund av basflödets långa responstid.

Ett viktigt beteende i NAM-modellen är att ytmagasinet måste vara fyllt innan ytaavrinning respektive infiltration sker. Under torrperioder med hög avdunstning kan därmed U_{max} uppskattas utifrån hur mycket nederbörd som krävs för att ytmagasinet ska fyllas och ytaavrinning ske. Denna metodik kan även användas under perioder med låg avdunstning om nederbördstillfället har föregåtts av en extremt lång torrperiod.

6. **CK_{if}** justeras mot responsen av interflowflödet under perioder med låg avdunstning.

En minskning av CK_{if} ger en viss ökning av volymen under dessa perioder.

7. Det relativa vatteninnehållet i rotzonen, L/L_{max} , styr flera av de olika vattentransporterna i NAM-modellen. Då magasinskapaciteten, **L_{max}**, påverkar hastigheten i stigningen av L mot L_{max} , justeras L_{max} mot perioder med kraftig uppfyllnad av rotzonsmagasinet. Detta inträffar oftast under perioder med låg avdunstning, helst kombinerat med en blötperiod.

En minskning av L_{max} ger ökad avrinning, dock kan avrinningen minska något under perioder med mycket hög avdunstning.

8. Tröskelvärdena, T_{of} , T_{if} och T_g anger över vilket relativt vatteninnehåll i

rotzonsmagasinet, $L/L_{\max}$, som ytavrinning, interflow respektive basflöde kommer att genereras. Därmed kan tröskelvärdena uppskattas utifrån den tidpunkt i uppfyllnaden av rotzonsmagasinet där respektive flödeskomponent börjar avrinna.

Det bör noteras att tröskelvärdena inte har någon betydelse under de perioder då rotzonsmagasinet är nära fullt, $L = L_{\max}$.

Ett ökat tröskelvärde minskar avrinningen under torrperioder och i början av blötperioder, dvs perioder med lågt relativt vatteninnehåll i rotzonsmagasinet.

Tg justeras under perioder med kraftig påfyllnad av rotzonsmagasinet, helst kombinerat med låg avdunstning samt föregånget av en torrperiod. Tg är därmed en viktig parameter för justering av grundvattennivåns höjning i början av blötperioder.

Tof justeras efter en torrperiod vid tillfällena med kraftig påfyllnad av rotzonsmagasinet. Exempelvis kan justering ske mot tillfällena där även större nederbördsvolym ej ger upphov till någon ytavrinning.

Tif justeras efter en torrperiod vid uppfyllnad av rotzonsmagasinet, helst kombinerat med låg avdunstning. Tif är dock en av de minst viktiga parametrarna.

9. Graddagskoefficienten, **Csnow**, kan uppskattas genom att studera sambandet mellan temperatur, vatteninnehållet i snömagasinet samt uppmätt avrinning. Vid negativ temperatur lagras nederbörden i snömagasinet. Vid positiv temperatur töms snömagasinets innehåll till ytmagasinet, där hastigheten på tömningen styrs av Csnow. En höjning av Csnow innebär att tömningen sker snabbare.

Denna process bör studeras då och då under hela kalibreringsprocessen. Annars finns risk för att snösmältningsfenomenen beskrivs på ett felaktigt sätt genom att justera andra parametrar.

I de fall då bräddning förekommer inom det studerade modellområdet, exempelvis vid simulering av tillrinning till ett reningsverk, måste detta beaktas vid kalibrering av flödestoppar i samband med nederbörd. NAM beräknar det totalt genererade flödet inom avrinningsområdet och kan alltså inte beskriva hydrauliska processer som exempelvis bräddning, se kapitel 3.3, **figur 3.2**. Kalibrering av de modellparametrar som påverkar volymen i flödestopparna bör därför ske mot nederbördstillfällena där bräddning sannolikt inte har inträffat. De modellparametrar som påverkar flödets respons (tidsmässiga variation), kan, vid nederbördstillfällena då bräddning inträffar, kalibreras mot flödestoppens bas eller bredd.

Med en välkalibrerad NAM-modell kan därmed en grov uppskattning av bräddad volym erhållas genom att studera skillnaden mellan beräknat och uppmätt flöde vid kraftiga flödestoppar, se kapitel 3.3, **figur 3.3**.

3.3 Utvärderingsmetodik

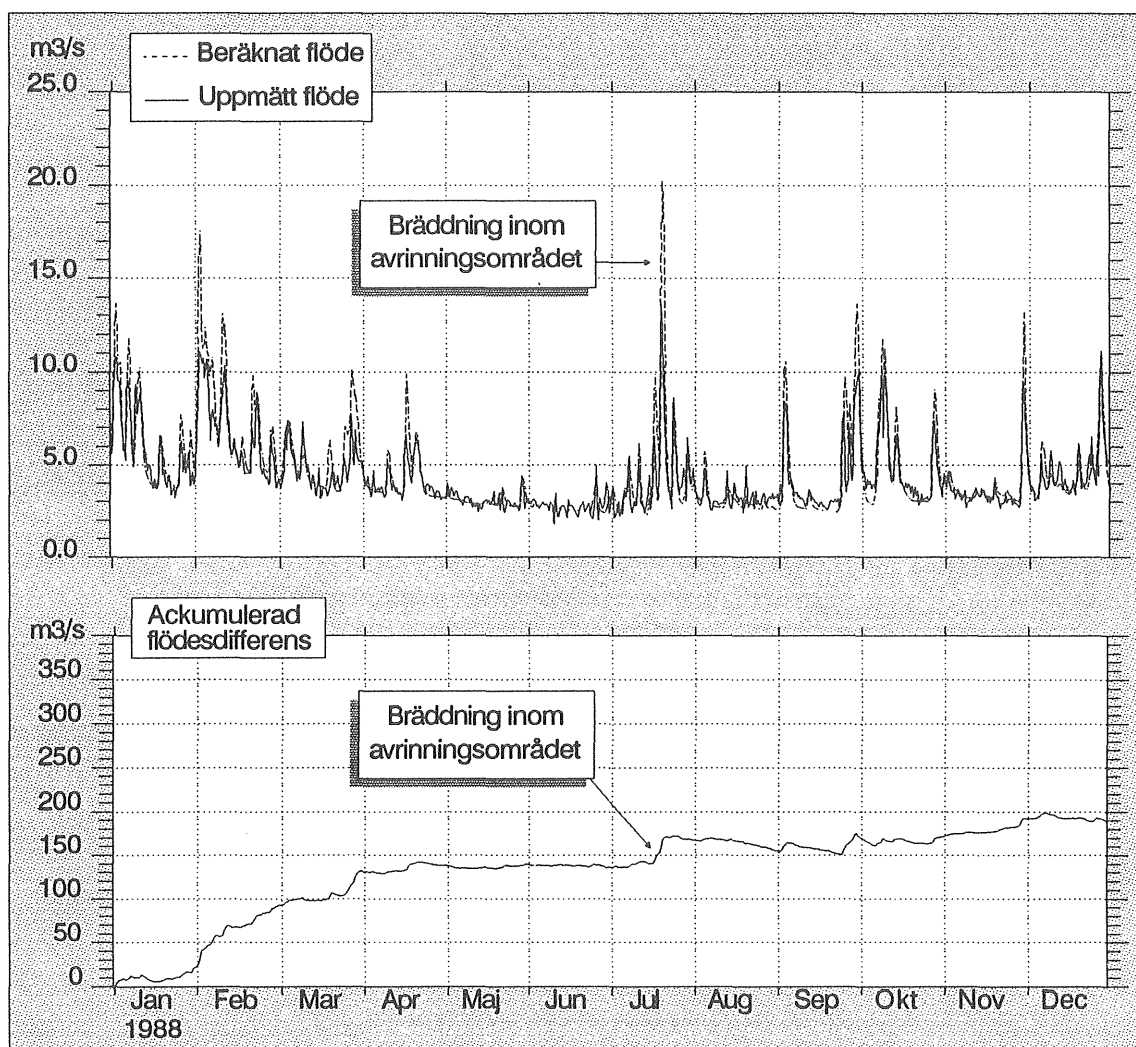
Ett verifieringskriterium är en regel efter vilken modellens överensstämmelse med verkligheten bedöms. Flera typer av kriterier finns, alltifrån enstaka värden på överensstämmelse (numeriska kriterier), till olika typer av grafisk representation av överensstämmelsen (grafiska kriterier), exempelvis scatterdiagram där varje beräknat flödesvärde ställs mot motsvarande uppmätta. Det finns faktiskt ett nästan oändligt antal möjligheter att beskriva överensstämmelsen mellan två hydrografer. Problemet är att hitta det kriterium som bäst motsvarar modellens tänkta användningsområde.

Valet av kriterium är viktigt eftersom det kan påverka det slutliga valet av parametervärden och därmed den kalibrerade modellens beteende. Alla kriterier har dock sina begränsningar varför en noggrann visuell inspektion av hydrografernas överensstämmelse är nödvändig.

I denna studie har följande tre utvärderingsmetoder valts:

- A. Grafisk utvärdering av överensstämmelsen mellan beräknad och uppmätt hydrograf. Jämförelsen mellan uppmätt och beräknat flöde är nödvändig under hela kalibreringsförloppet och utnyttjas speciellt under grovkalibreringen.

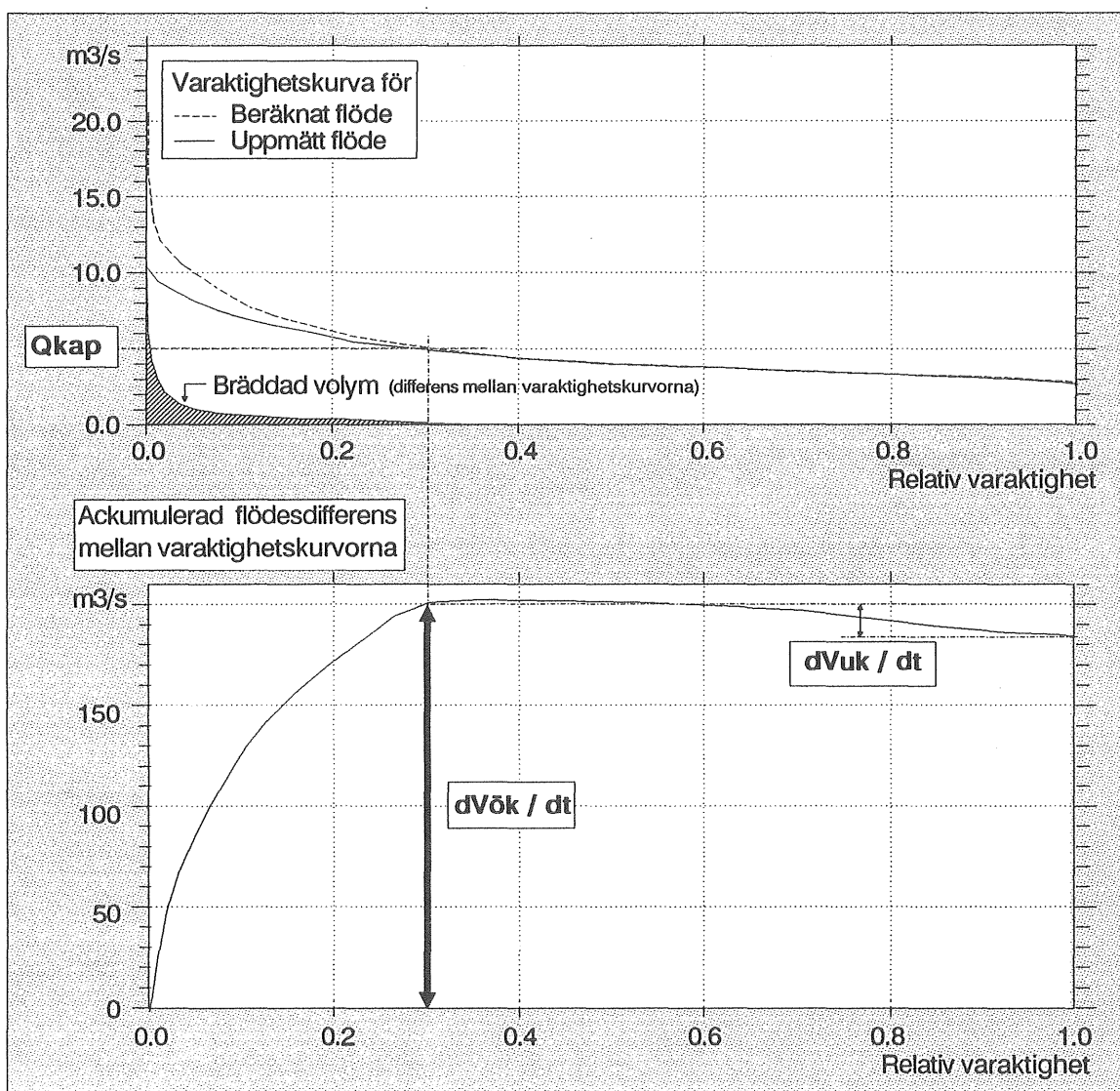
Denna jämförelse har kompletterats med en studie av den ackumulerade differensen mellan uppmätt och beräknat flöde, se exempel i **figur 3.2**.



Figur 3.2 Exempel på grafisk utvärdering av överensstämmelsen mellan beräknat och uppmätt flöde samt ackumulerad differens mellan hydrograferna.

B. Grafisk utvärdering av överensstämmelsen mellan varaktighetskurvorna för beräknat och uppmätt flöde.

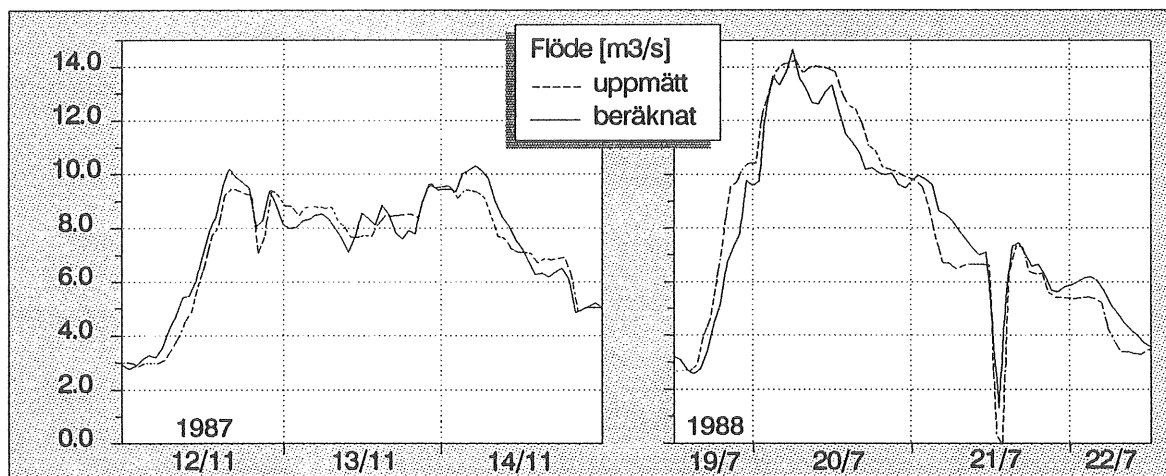
Volymisdifferensen mellan beräknade och uppmätta varaktighetskurvor har studerats genom att ta fram den ackumulerade differensen mellan varaktighetskurvorna. Ur denna jämförelse har två nyckeltal tagits fram, dVök och dVuk, se exempel i **figur 3.3**. Ur dessa nyckeltal har två numeriska kriterier beräknats, dVökr och dVukr, se nedan.



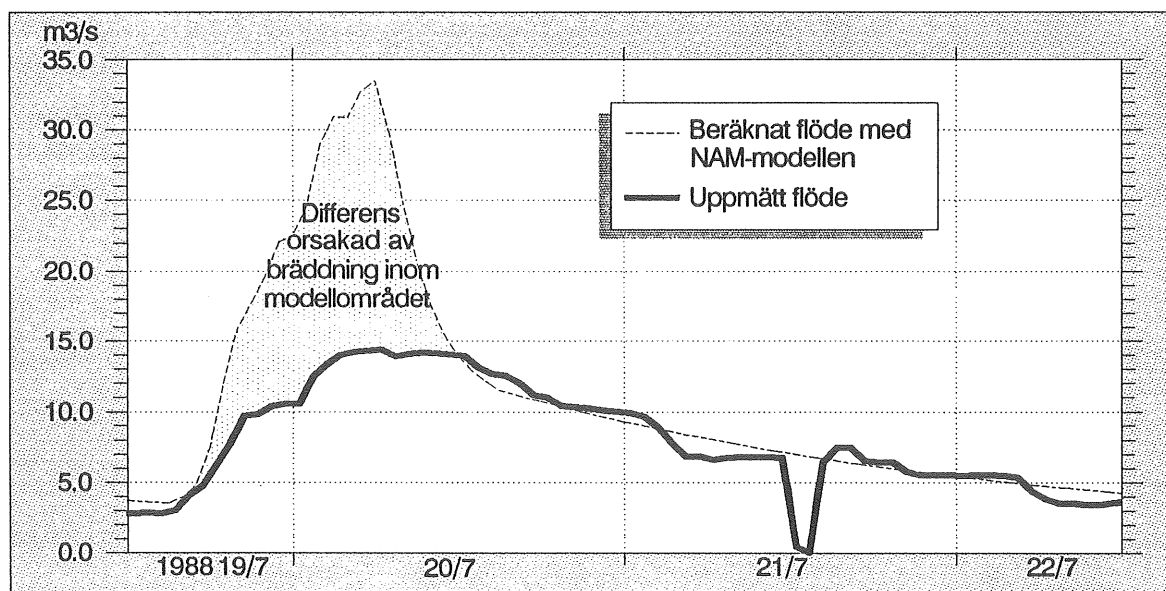
Figur 3.3 Exempel på grafisk utvärdering av överensstämmelsen mellan varaktighetskurvor för beräknat och uppmätt flöde samt definition av nyckeltalen $dVök$ och $dVuk$.

Som tidigare nämnts kan bräddning inte hanteras av NAM-modellen. NAM-modellen beräknar det totalt genererade flödet inom avrinningsområdet. Volymsdifferensen, $dVök$, mellan beräknade och uppmätta toppflöden kan därmed tolkas som bräddning inom området. $dVök$ är alltså volymsdifferensen över Q_{kap} , där Q_{kap} är den flödesgräns under vilken bräddning inte bedöms inträffa. $dVök$ har i denna studie kunnat kontrolleras mot beräknad bräddvolym med en mer detaljerad MOUSE-modell för hela Ryaverkets tunnelsystem, se ref. /9/, där NAM-modellen använts för beskrivning av inloppshydrograferna från 20 delområden.

I **figur 3.4** visas överensstämmelsen mellan uppmätt flöde vid Rya-verket och beräknat flöde med den mer detaljerade modellen för två regntillfällen. I **figur 3.5** visas ett av dessa regntillfällen då endast NAM-modellen använts.



Figur 3.4 Jämförelse av beräknat och uppmätt flöde då en kombinerad MOUSE- och NAM-modell använts.



Figur 3.5 Överensstämmelse mellan beräknat och uppmätt flöde då endast NAM-modellen använts.

dVuk är volymsdifferensen under Q_{kap}, dvs volymsdifferensen under de perioder då bräddning inte bedöms förekomma. Därmed bör dVuk ha ett värde nära noll.

De numeriska kriterierna, dVökr och dVukr, definieras enligt:

$$dVökr = (dVök - BV_{\text{MOUSE}}) / dVök$$

där: BV_{MOUSE} = den med MOUSE beräknade bräddvolymen

$$dVukr = dVuk / V_r$$

där: V_r = den totala flödesvolymen under studerad period

- C. Ett numeriskt kriterium, σ_{rel} , beräknas.
 Detta kriterium definieras enligt:

$$\sigma_{\text{rel}} = \sqrt{\sum dQ^2 / n} / Q_{\text{mean}}$$

där: $\sum dQ^2$ = summan av flödesdifferenserna i kvadrat

n = antalet observationer i den studerade datamängden

Q_{mean} = uppmätt medelflöde under studerad period

Vid utvärdering med detta kriterium har den studerade perioden indelats i dels torrvädersdata, där $\sigma_{\text{rel,dry}}$ har beräknats, dels blötvädersdata, där $\sigma_{\text{rel,wet}}$ har beräknats. Härvid definieras torrvädersperiodens början som ett dygn efter nederbörd (eller snösmältning). Detta för att eventuell bräddning på ledningsnätet ska vara helt avslutad.

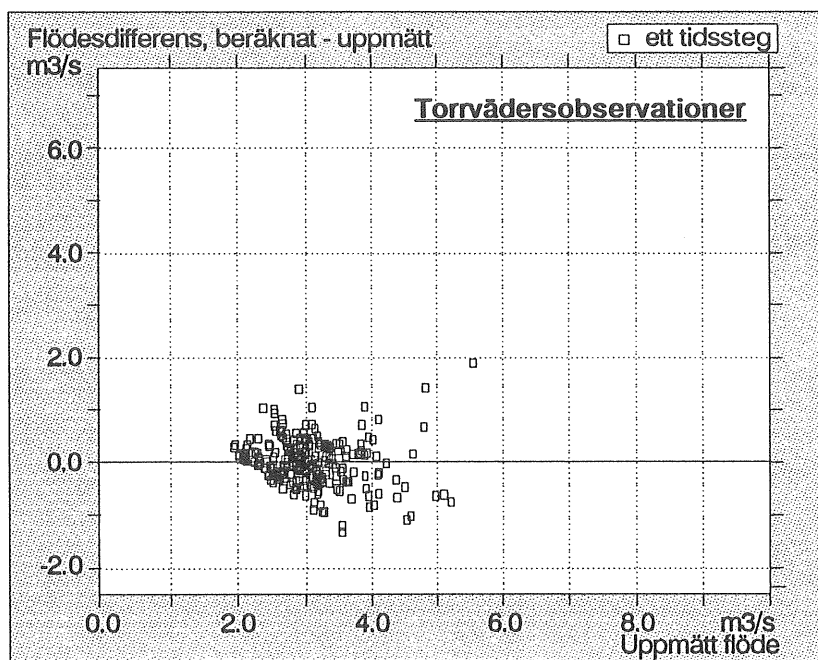
Vid beräkning av $\sigma_{\text{rel,wet}}$ har den studerade datamängden reducerats till endast de observationer där uppmätt flöde är mindre än Q_{kap}, dvs de perioder där bräddning ej anses förekomma.

En grafisk tolkning av σ_{rel} utgörs av flödesdifferensen, mellan beräknat och uppmätt flöde, ställd mot det uppmätta flödet, se **figur 3.6a** och **figur 3.6b**.

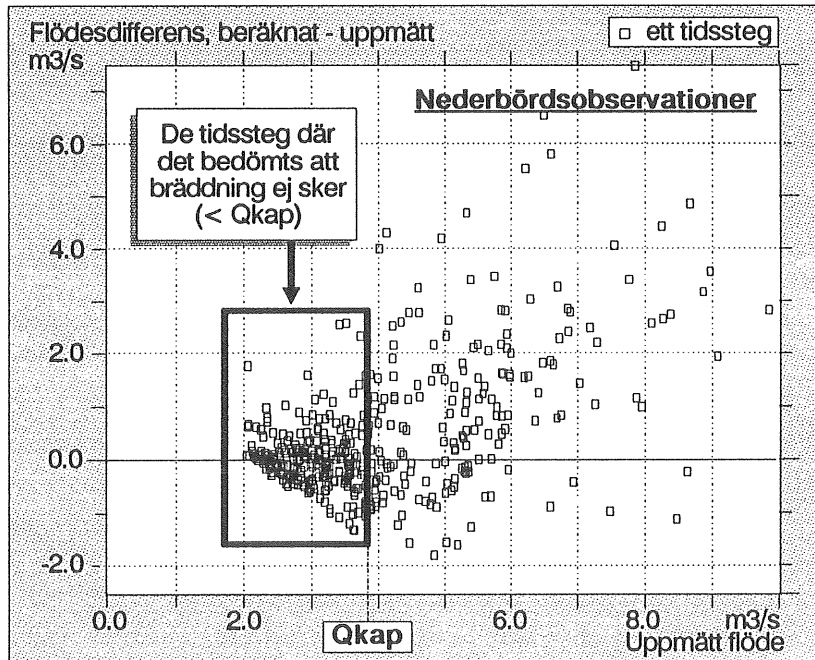
Ett viktat medelvärde av $\sigma_{\text{rel,dry}}$ och $\sigma_{\text{rel,wet}}$ har därefter beräknats, $\sigma_{\text{rel,mean}}$. Viktningen har skett mot antalet torr- respektive blötväders-observationer enligt:

$$\sigma_{\text{rel,mean}} = (n_{\text{dry}} \times \sigma_{\text{rel,dry}} + n_{\text{wet}} \times \sigma_{\text{rel,wet}}) / n_{\text{tot}}$$

där: n = antal observationer



Figur 3.6a Grafisk tolkning av σ_{rel} för torrvädersobservationerna.



Figur 3.6b Grafisk tolkning av σ_{rel} för blötvädersobservationerna.

4. RESULTAT

Resultaten från den genomförda studien redovisas nedan i tabellform, dessutom ges några typiska exempel på verifieringsresultat i diagramform. I Appendix 1 redovisas samtliga kalibreringsresultat i diagramform. I Appendix 2 redovisas huvuddelen av valideringsresultaten i diagramform.

I **tabell 4.1** visas samtliga numeriska kriterier för respektive kalibreringsperiod. Optimering av parametrarna har utförts tills kriteriet dV_{ukr} erhöll ett värde mindre än 1.0 % och skillnaden mellan $dV_{ök}$ och beräknad bräddvolym enligt den detaljerade MOUSE-modellen (se kapitel 3.3) var mindre än 1.0 % samtidigt som σ_{rel} -kriterierna minimerades.

I **tabell 4.2** visas de numeriska kriterierna för utförd validering mot oberoende data (1979-1984) efter optimering av parametrarna mot respektive kalibreringsperiod.

Efter optimering av parametrarna mot de längre kalibreringsperioderna (2, 4 och 7 år) erhölls en vattenbalans (dV_{ukr}) för valideringen av samma storleksordning som för kalibreringsperioderna (< 1,0 %). För övriga kalibreringsperioder erhölls stora volymsfel vid valideringen.

Erhållna värden för σ_{rel} -kriterierna ligger generellt något högre för valideringen jämfört med kalibreringen. Speciellt märks detta efter kalibrering mot de kortare torrperioderna 1 och 2, medan kalibrering mot de längre perioderna uppvisar de lägsta σ_{rel} -värdena för valideringen. Av intresse är att låga σ_{rel} -värden, för valideringen, även erhålls efter kalibrering mot period 4 (1 blötår), sämre värden erhålls dock för vattenbalansen.

Resultaten i **tabell 4.1 och 4.2** har sammanfattats i två diagram i **figur 4.1**, ett för dV_{ukr} och ett för $\sigma_{rel,mean}$. Av figuren framgår att modellens förmåga att simulera avrinningsområdets beteende under en längre oberoende period tydligt försämrats vid optimering av parametrarna mot kortare kalibreringsperioder, speciellt om de hydrologiska förhållandena är torra under kalibreringsperioden. Trovärdiga verifieringsresultat erhölls efter kalibrering mot period 5, 6 och 7, dvs kalibrering mot en period som var minst 2 år.

I **figur 4.2 och 4.3** visas kalibrerings- respektive valideringsresultaten i diagramform efter optimering av parametrarna mot 2-årsperioden (period 5). Dessa resultat kan ses som ett exempel på en trovärdig verifiering.

I **figur 4.4** visas valideringsresultaten i diagramform efter optimeringsparametrarna mot 4-månadersperioden med torra hydrologiska förhållanden (period 1). Dessa resultat kan ses som ett exempel på en mindre trovärdig verifiering.

Tabell 4.1 Samtliga numeriska kriterier för respektive kalibreringsperiod. Q_{kap}, BV_{MOUSE}, V_r och Q_{mean} har använts för att beräkna kriterierna nedan.

*1 beräknad med detaljerad MOUSE-modell, se kapitel 3.3.

*2 endast åren 1988-1989.

*3 endast åren 1988-1991.

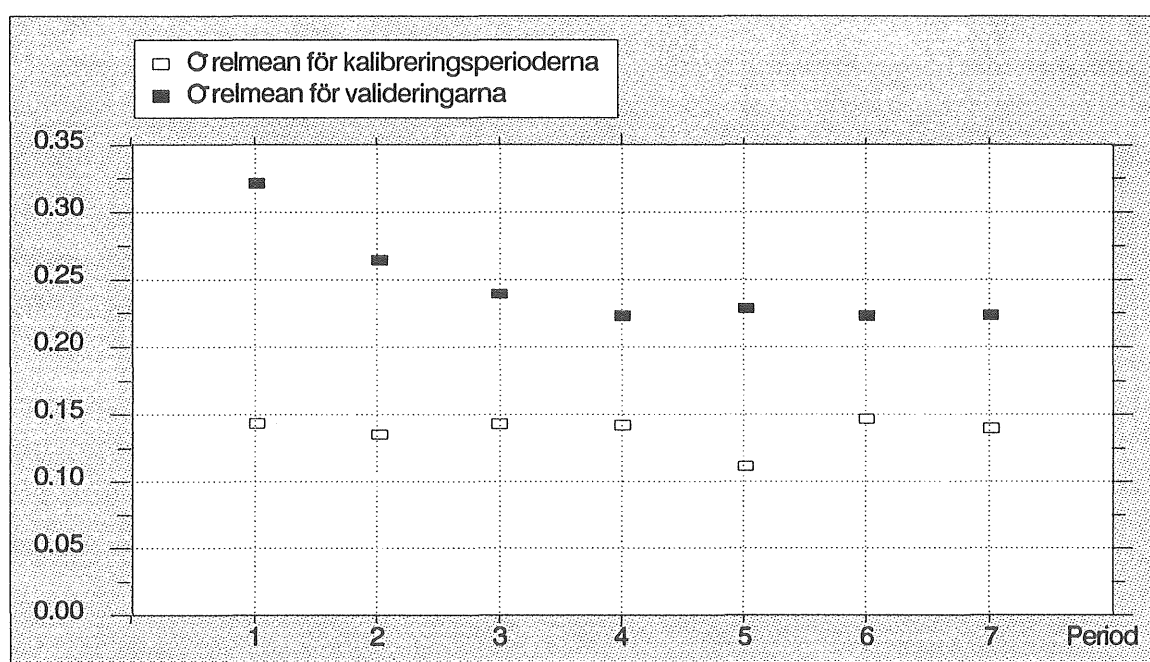
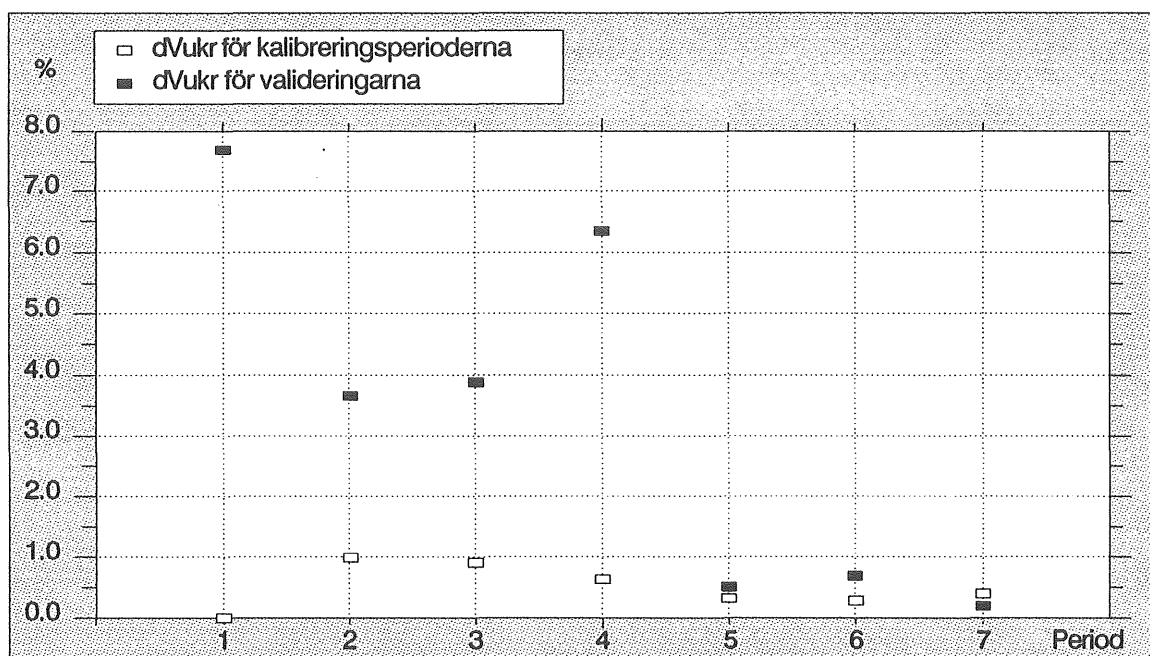
Numeriskt kriterie	Period 1 4 mån torr	Period 2 1 år torr	Period 3 4 mån blöt	Period 4 1 år blöt	Period 5 2 år	Period 6 4 år	Period 7 7 år
dVökr [%]	1.00	-0.10	0.00	0.67	0.18	-0.80 *2	0.75 *3
dVukr [%]	0.00	-1.00	0.93	-0.65	0.30	-0.30	-0.40
σ_{rel} dry	0.102	0.119	0.096	0.130	0.090	0.122	0.127
σ_{rel} wet	0.188	0.151	0.191	0.155	0.133	0.173	0.152
σ_{rel} mean	0.145	0.135	0.144	0.143	0.112	0.148	0.140

Q _{kap} [m ³ /s]	3.78	3.82	5.70	4.15	3.27	4.00	3.82
BV _{MOUSE} [Mm ³] *1	0.95	9.81	3.50	8.85	11.33	12.60 *2	25.08 *3
V _r [Mm ³]	32.0	115.1	53.9	136.1	234.7	490.6	859.9
Q _{mean} [m ³ /s]	3.013	3.648	5.153	4.304	3.722	3.887	3.894

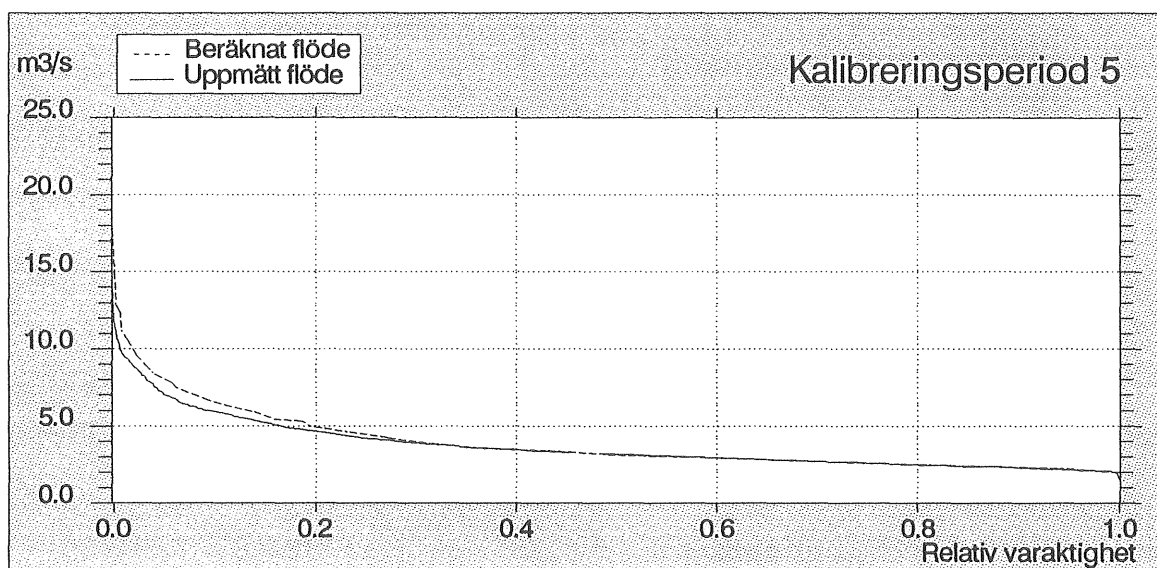
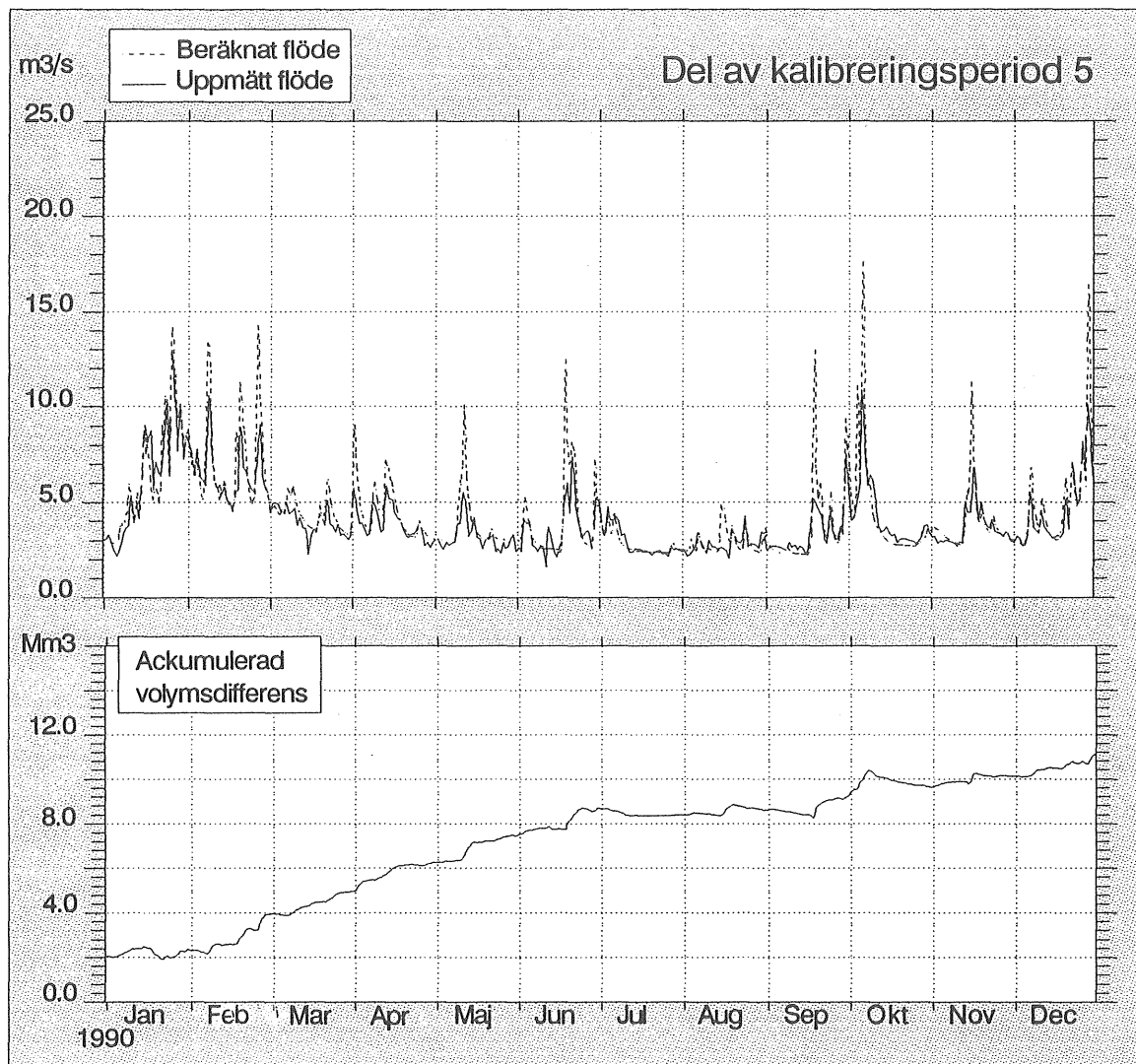
Tabell 4.2 Samtliga numeriska kriterier för utförd validering efter optimering av parametrarna mot respektive kalibreringsperiod. Qkap, Vr och Qmean har använts för att beräkna kriterierna nedan.

Num- eriskt kriterie	Period 1 4 mån torr	Period 2 1 år torr	Period 3 4 mån blöt	Period 4 1 år blöt	Period 5 2 år	Period 6 4 år	Period 7 7 år
dVukr [%]	7.69	3.68	-3.94	-6.33	-0.46	-0.71	0.25
σ_{rel} dry	0.291	0.216	0.201	0.190	0.193	0.194	0.197
σ_{rel} wet	0.355	0.314	0.281	0.258	0.263	0.253	0.254
σ_{rel} mean	0.323	0.265	0.241	0.224	0.228	0.224	0.226

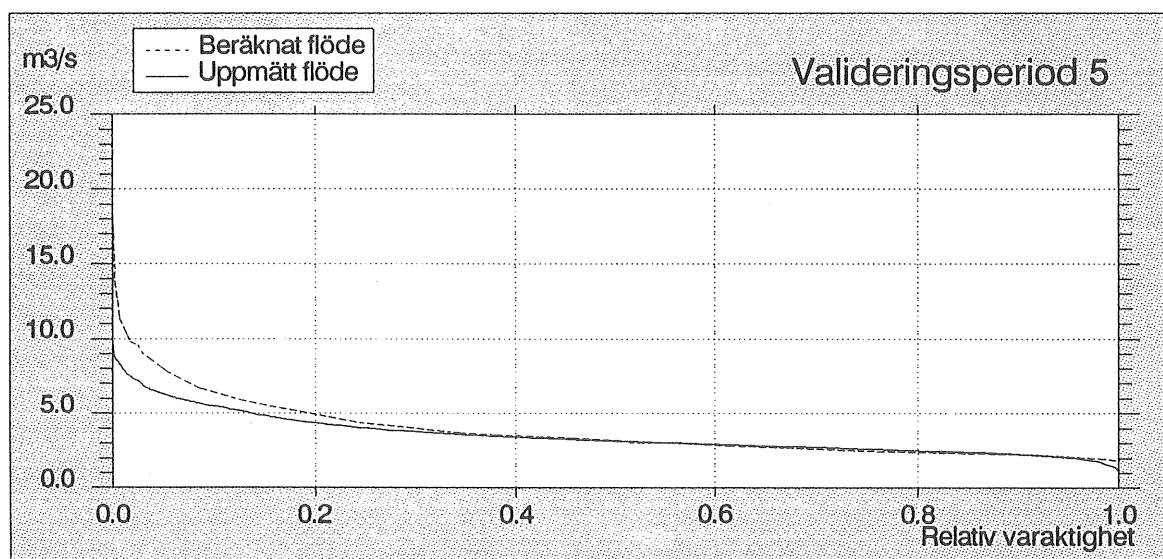
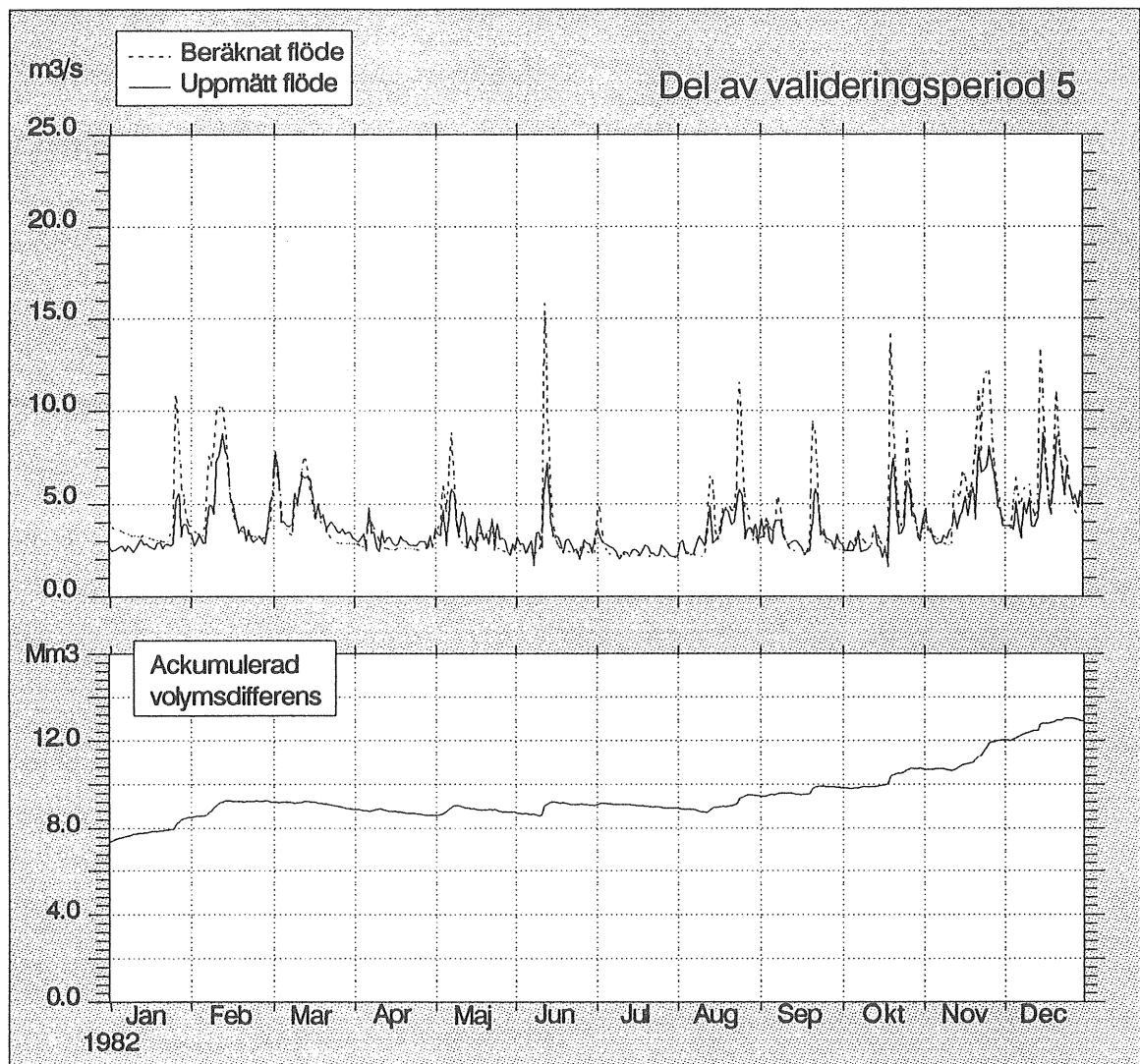
Qkap [m3/s]	3.65	3.65	3.65	3.65	3.65	3.65	3.65
Vr [Mm3]	667.9	667.9	667.9	667.9	667.9	667.9	667.9
Q _{mean} [m3/s]	3.526	3.526	3.526	3.526	3.526	3.526	3.526



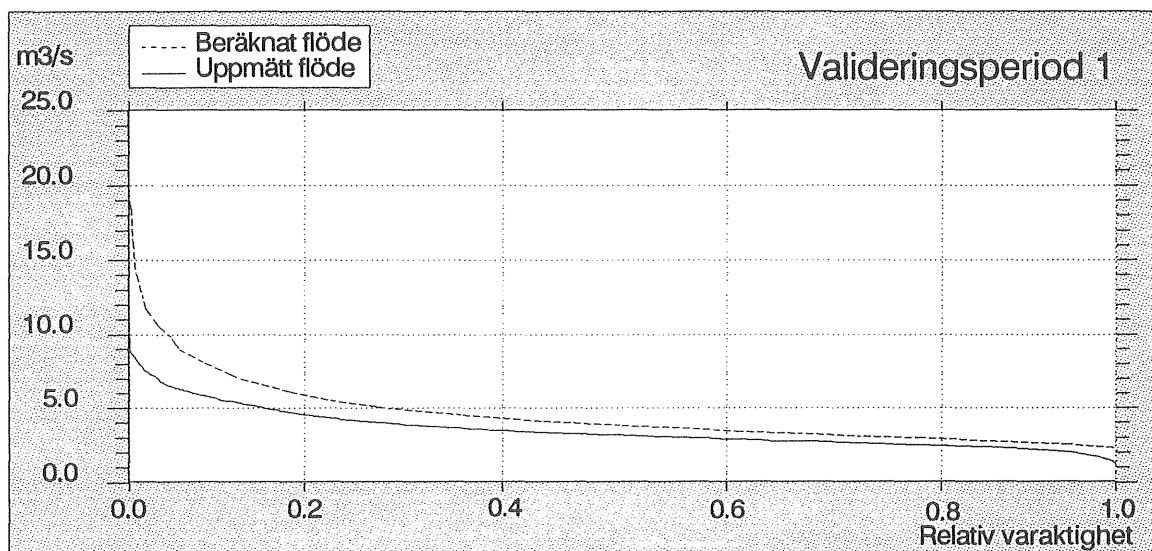
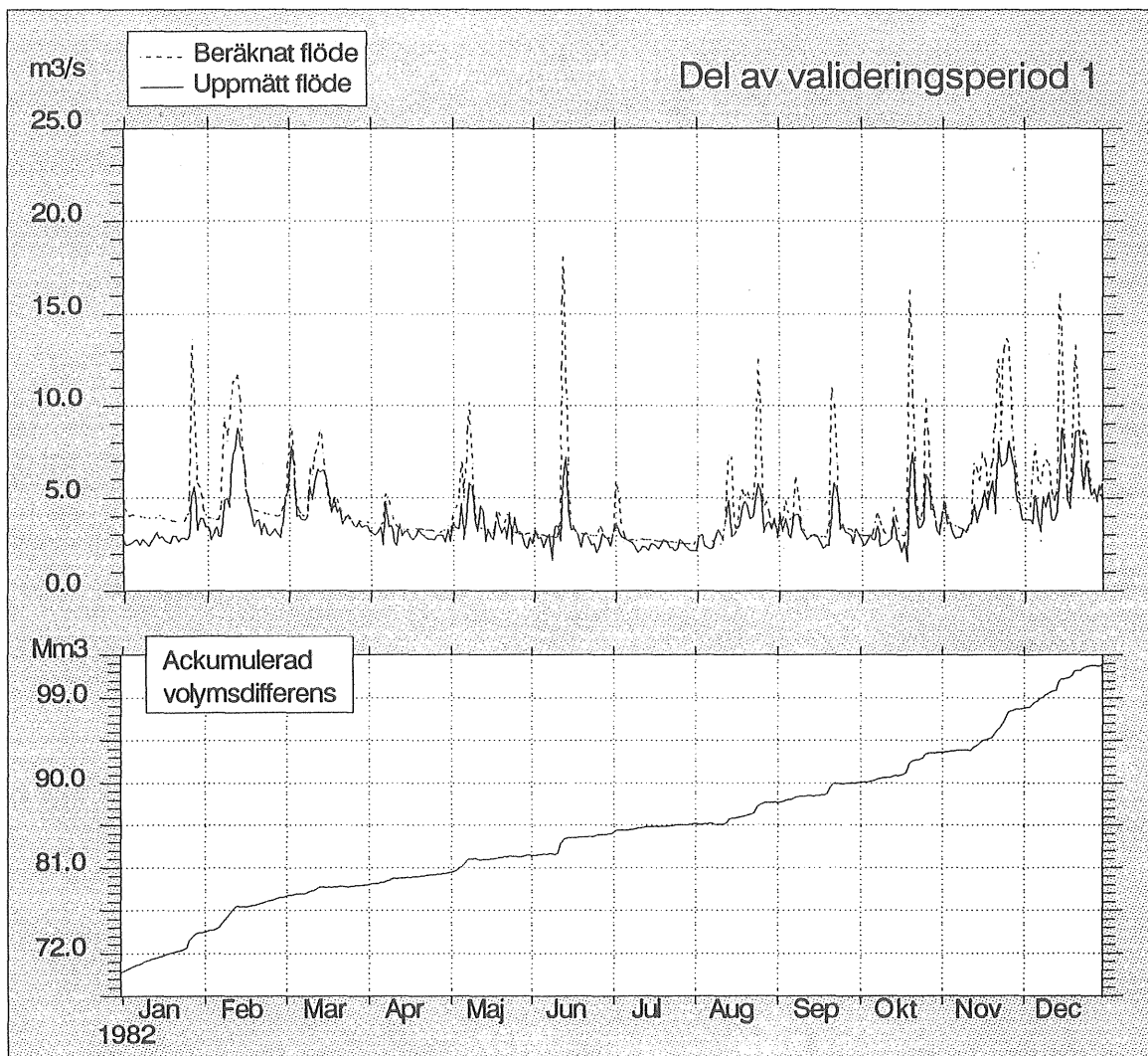
Figur 4.1 Sammanfattning av resultaten i tabell 4.1 och 4.2. Det övre diagrammet visar kriteriet dVukr och det undre diagrammet visar kriteriet $\sigma_{rel}mean$.



Figur 4.2 Kalibreringsresultat för 2-årsperioden.



Figur 4.3 Valideringsresultat efter kalibrering mot 2-årsperioden.



Figur 4.4 Valideringsresultat efter kalibrering mot 4-månadersperioden med torra hydrologiska förhållanden.

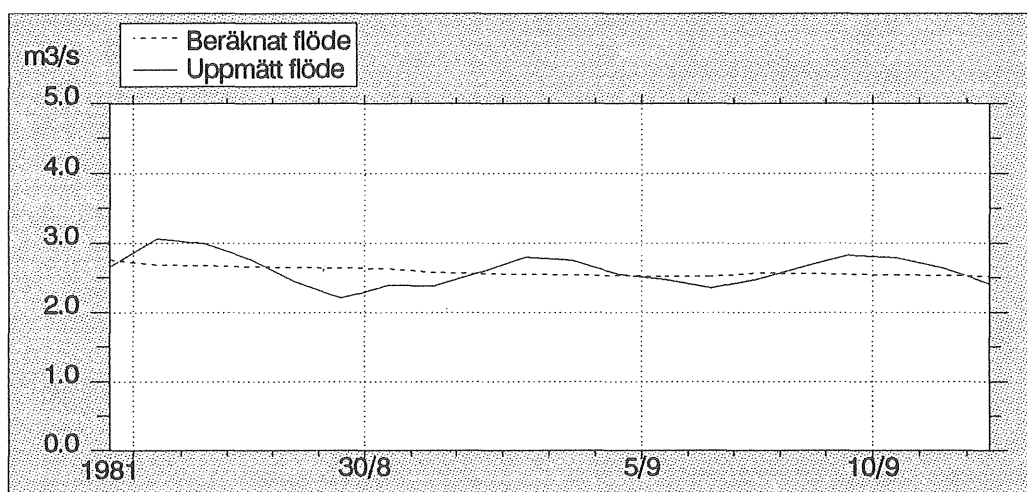
De beräknade σ_{rel} -värdena ovan baseras på det totala felet mellan beräknat och uppmätt flöde. Detta fel inkluderar dock slumpmässiga fel i de uppmätta tidsserierna samt övriga icke hydrologiska fel som exempelvis felaktigheter i den uppskattade spillvattenhydrografen. Dessa fel framträder ofta som ett "brus" i den uppmätta flödeshydrografen.

För att uppskatta storleksordningen på dessa icke hydrologiska fel har ett antal torrvädersperioder studerats där dels beräknad och uppmätt lutning på hydrograferna stämmer överens, dels där vattenbalansen är korrekt. Perioderna som studerats är följande, se exempel i **figur 4.5**:

- o 810401 - 810429
- o 810824 - 810912
- o 820707 - 820731
- o 860530 - 860702
- o 891115 - 891212

För varje period beräknades σ_{rel} -värdet, varpå medelvärdet, $\sigma_{\text{rel,ihf}}$, av dessa togs fram. Normering skedde mot medelflödet, Q_{mean} , för det uppmätta flödet under valideringsperioden, så att jämförelse senare skulle kunna göras med de totala felen under valideringsperioden.

Under antagande att $\sigma_{\text{rel,ihf}}$ kan extrapoleras, och alltså är av samma storleksordning under hela perioden (1979-1991) kan det icke hydrologiska felet för valideringsperioden uppskattas enligt ovan till $\sigma_{\text{rel,ihf}} = 0.08$. Detta skall tolkas som att värdet 0.08 är en uppskattning av det minsta $\sigma_{\text{rel,mean}}$ -värde som kan erhållas med en "perfekt" hydrologisk modell för det studerade fallet. I det aktuella fallet med NAM-modellen är det icke hydrologiska felet av storleksordningen 1/3 av det totala felet för de bästa valideringsresultaten.



Figur 4.5 Exempel på period som studerats för uppskattning av det icke hydrologiska felet.

Samtliga modellparametrar för respektive kalibreringsperiod visas i **tabell 4.3**. Parametrarna för 2-, 4- och 7-årsperioderna är i stort sett lika och beskriver bäst avrinningsområdets beteende under olika hydrologiska händelser, se ovan.

För perioderna 1-4 avviker parametrarna A, CQof, CKof och CKbf märkbart från parametervärdena för perioderna 5-7. Även parametern CKif avviker, denna parameter är dock av mindre betydelse beroende på dess känslighet, se ref. /1/. Parametern A erhöll ett större värde för de torra kalibreringsperioderna och ett mindre värde för de blöta. CQof avviker mest för de torra perioderna. Värdena för CKbf indikerar en avvikelse med högre värden för torrperioderna och lägre värden för blötperioderna. Avvikelserna för dessa modellparametrar indikerar att kravet på kalibreringsperiod i huvudsak bestäms av dessa parametrar. Den allmänna betydelsen av dessa parametrar speglas dock också av avvikelserna.

Tabell 4.3 Samtliga modellparametrar för respektive kalibreringsperiod.

Parameter	Period 1 4mån torr	Period 2 1 år torr	Period 3 4mån blöt	Period 4 1 år blöt	Period 5 2 år	Period 6 4 år	Period 7 7 år
A [km ²]	156.3	140.2	104.5	103.7	114	109.6	114
Umax [mm]	4	5	5	5	5	5	5
Lmax [mm]	180	180	180	180	180	180	180
CQof	0.29	0.43	0.4	0.36	0.38	0.35	0.34
CKof [tim]	14	20	12	14	20	18	20
CKif [tim]	500	300	300	150	150	150	150
CKbf [tim]	2000	3500	1000	1700	2000	2000	2000
Tof [%]	0	0	0	15	0	15	15
Tif [%]	0	0	0	0	0	0	0
Tg [%]	0	0	0	0	0	0	0
Csnow [mm/C/d]	3	3	3	3	3	3	3

5. SLUTSATSER

Resultaten från studien visar att modellens trovärdighet ökar med ökande längd på kalibreringsperioden. Detta är också naturligt då en längre kalibreringsperiod täcker in fler hydrologiska händelser och därmed statistiskt sett fler typer av hydrologiska situationer. En modell kan exempelvis inte förväntas simulera extremt blöta situationer med hög noggrannhet om den endast kalibrerats mot relativt torra förhållanden.

I denna studie erhöles valideringsresultat av ungefär samma noggrannhet efter kalibrering mot perioder med en längd på 2 år eller mer. Detta indikerar med andra ord att NAM-modellen vid urbana tillämpningar kräver kalibrering mot minst 2 års data för att med hög noggrannhet kunna simulera en oberoende period.

Den 2-årsperiod som använts i denna studie består av ett extremt blötår och ett extremt torrår, vilket ger särskilt goda förutsättningar för att flera typer av hydrologiska situationer skall täckas in av perioden. I det generella fallet gäller naturligtvis inte dessa förutsättningar för en 2-årsperiod. Vid en generell rekommendation bör också beaktas att de uppmätta serierna i praktiken många gånger innehåller slumpmässiga felaktigheter, exempelvis beroende på mätarfel under kortare perioder eller att indatatidsserierna inte, i alla lägen, är representativa för hela avrinningsområdet (lokala variationer i nederbörden etc). Längre perioder kan då erfordras så att ett större urval av hydrologiska händelser erhålls, vilket därmed möjliggör en enklare bedömning av vilka avvikelser som sannolikt beror på icke hydrologiska fel (mätarfel etc). Dessutom kommer slumpmässiga fel att utjämnas i ett större material av händelser. Effekterna av eventuella systematiska fel i indatatidsserierna kvarstår dock, trots kalibrering mot mycket långa tidsserier. Det är därför mycket viktigt att dessa minimeras innan kalibrering av modellen.

Med ledning av resonemanget ovan borde en generell rekommendation vad gäller kalibreringsperiodens längd på mellan 3 och 5 år vara rimlig för att säkerställa trovärdiga parametervärden. Studien visar dock att också kalibrering mot kortare perioder kan ge godtagbara resultat, även om detta inte säkerställer en optimal verifiering.

I huvudsak påverkades parametrarna A, CQof, CKof och CKbf av kalibreringsperiodens längd och typ, medan övriga parametrar i princip erhöles samma parametervärden. Avvikelserna för dessa modellparametrar indikerar att kravet på längre kalibreringsperiod i huvudsak bestäms av dessa parametrar. Den allmänna betydelsen av dessa parametrar speglas dock också av avvikelserna.

Slutsatserna ovan baseras endast på det studerade avrinningsområdet. De erhållna parametervärdena för detta område passar dock väl in i det begränsade variationsspann som har erhållits vid tidigare genomförda studier. Detta in-

dikerar att resultaten från denna studie borde kunna anses vara relativt allmän-
giltiga.

Resultaten överensstämmer också med erfarenheterna från tidigare genomförda
tillämpningar med NAM-modellen.

REFERENSER OCH ÖVRIG LITTERATUR

- /1/ Appelgren, C., Kullman, M. (1991): **Den hydrologiska modellen NAM. Sensitivitetsanalys av modellparametrar.** Examensarbete nr 1991:4, Institutionen för Vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- /2/ Bergström, S. (1976): **Development and application of conceptual runoff model for Scandinavian catchments.** SMHI, Norrköping.
- /3/ Bäckmann, H. (1992): **Indirekt nederbördspåverkan i duplikata spillvattensystem. Slutrapport.** Under tryckning, Byggforskningsrådet, Stockholm.
- /4/ Dansk Hydraulisk Institut (1989): **NAM. Documentation and User's guide. MIKE11.** Hörsholm, Danmark.
- /5/ Eriksson, B. (1983): **Data rörande Sveriges nederbörds klimat. Normalvärden för perioden 1951-80.** Rapport 1983:28, SMHI, Norrköping.
- /6/ Grip, H., Rodhe, A. (1988): **Vattnets väg från regn till bäck.** 2:a upplagan, Hallgren och Fallgren Studieförlag AB, Uppsala.
- /7/ Gustafsson, L.G., Olsson, R. (1991): **Indirekt nederbördspåverkan i duplikata spillvattensystem. Metodik för flödessimulering.** R69:1991, Byggforskningsrådet.
- /8/ VA-verket (1979-1991): **Nederbörd i Göteborg, 1979-1991.** Göteborg.
- /9/ VBB VIAK/Ledningsförnyelse (1991): **Ryaverkets avrinningsområde. Modellberäkning RAOM. Resultatsammanställning Etapp A och B, Formulering och verifiering.**
- /10/ Wilson, E.M. (1990): **Engineering Hydrology.** 4th ed. Macmillan Education Ltd, London.

BEGREPPSFÖRKLARINGAR

avdunstning

Den fysikaliska process varvid vatten omvandlas till vattenånga.

avrinningsområde

Ett genom höjdryggar eller andra geologiska bildningar avgränsat område varifrån vatten avrinner till en viss punkt.

infiltration

Vattnets genomträngande av markytan. Ibland används begreppet även för den vidare transporten nedåt genom markens omättade zon, egentligen perkolation.

interception

Den del av nederbörden som inte når marken utan fastnar i vegetationen och sedan avdunstar direkt därifrån.

interflow

Horisontell vattenström i det översta marklagret.

markvatten

Allt vatten i den omättade zonen mellan markytan och grundvattenytan.

parameter

En konstant i ett matematiskt uttryck för en matematisk modell. En parameter förblir konstant i tiden. Värdet på en fri eller empirisk parameter erhålls erfarenhetsmässigt under kalibreringen av modellen. En bunden eller fysikalisk parameter uppskattas från kartan, geofysiska mätningar eller annan information om området. Den hålls konstant under kalibreringsprocessen.

potentiell avdunstning

Möjlig avdunstning från vatten- eller markyta.

rotzon

Den del av den omättade zonen där vegetationen kan ta upp vatten (kallas ibland även för markvattenzon, se dock markvatten).

transpiration

Vattenavdunstning från inre ytor i växternas blad och barr.

variabel

En kvantitet som varierar med tiden. Det kan vara en serie av indata eller utdata från modellen men även en beskrivning av förhållandena i de olika delprocesserna i modellen.

vattnets kretslopp (hydrologisk cykel)

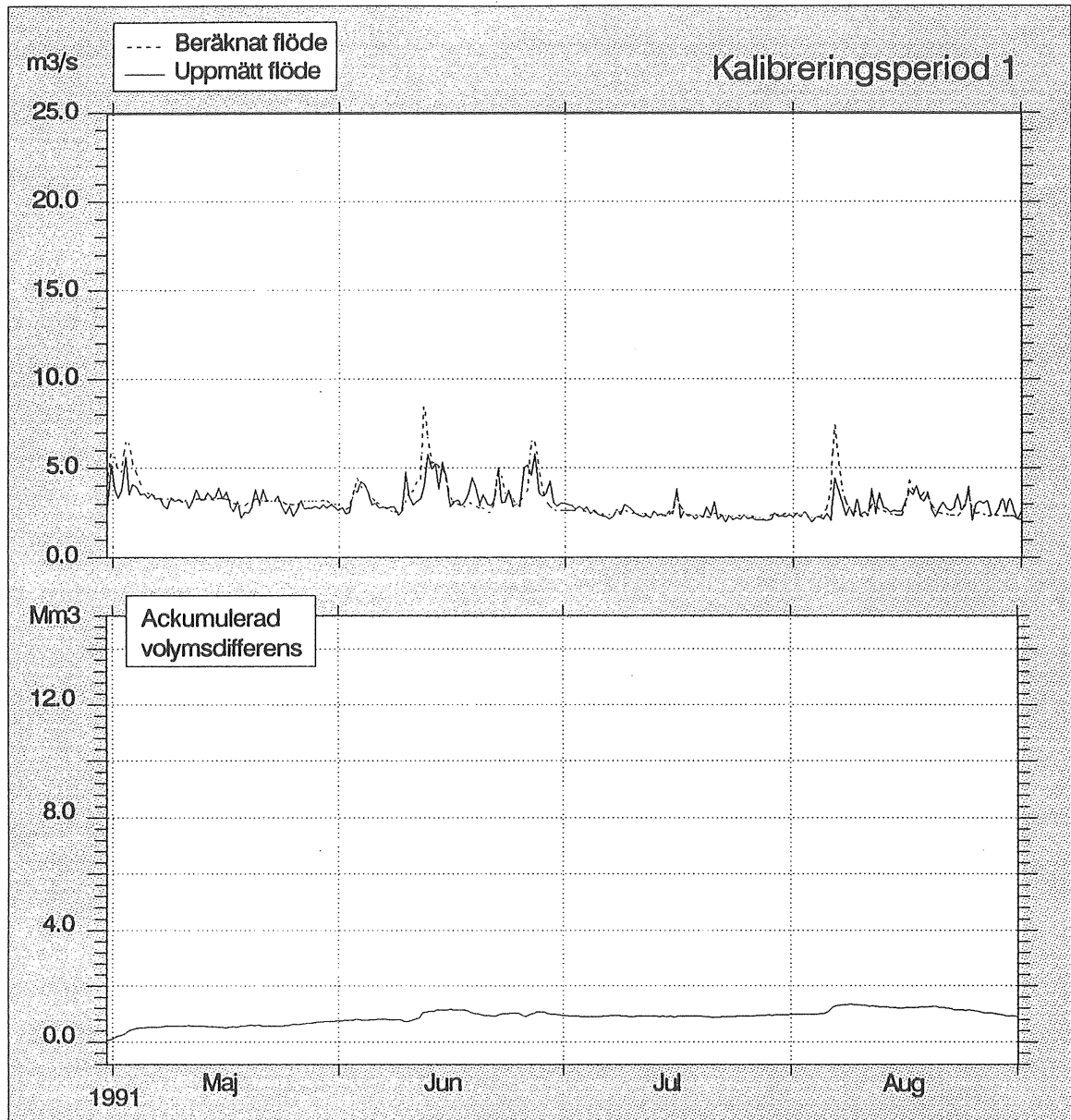
Vattnets vandring från atmosfären till jordytan och tillbaka. Innefattar nederbörd, avrinning, avdunstning och transport i atmosfären.

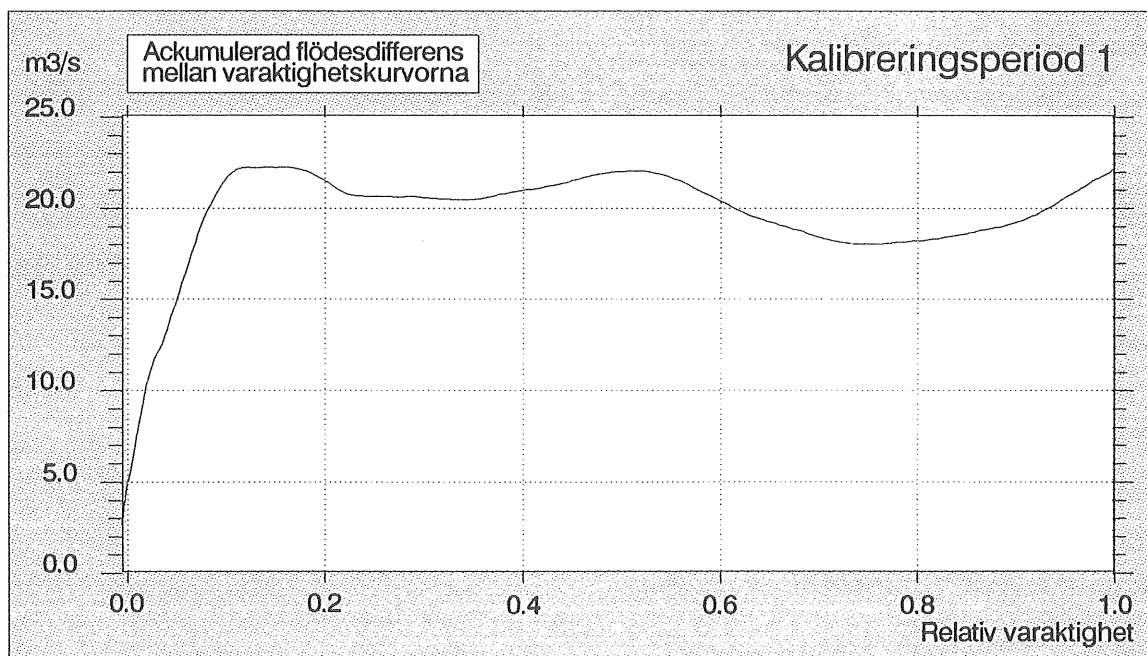
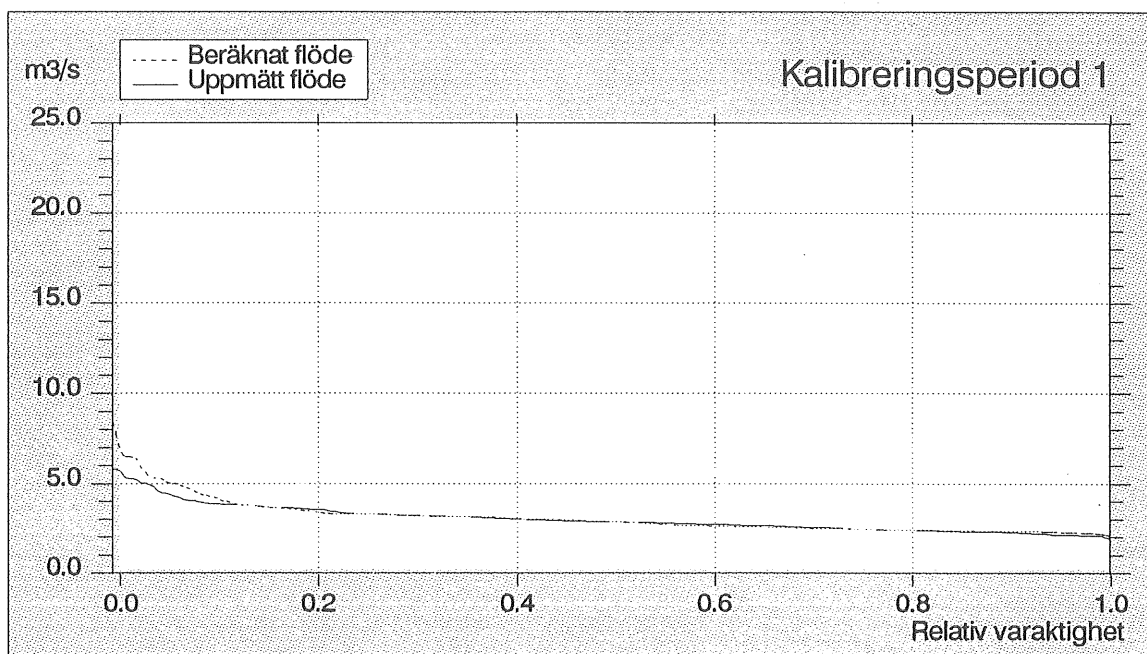
verklig avdunstning (aktuell evapotranspiration)

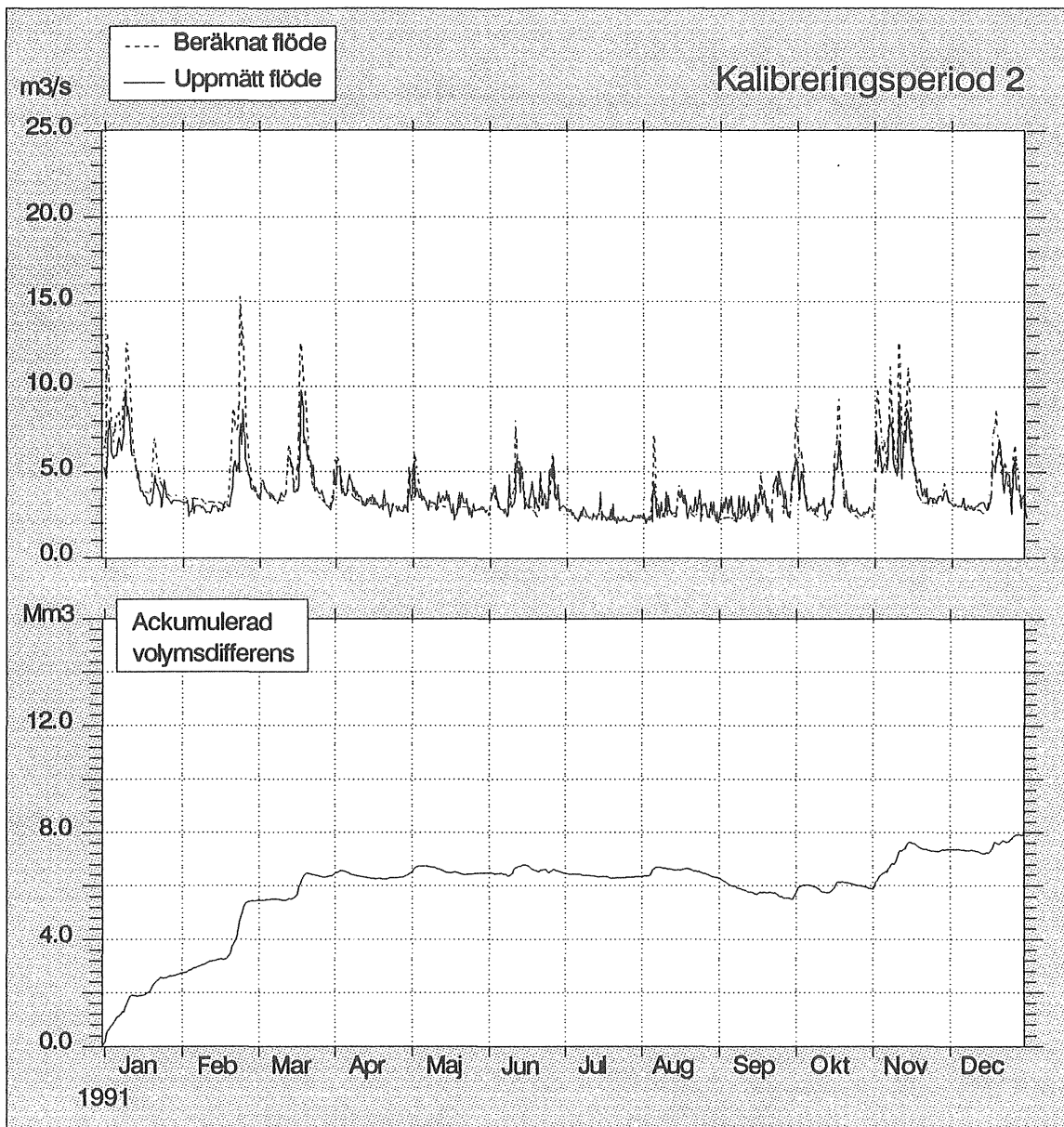
Den totala aktuella avdunstningen, dvs summan av avdunstningen från snö- och markytor av olika slag, interception i vegetationen samt växternas transpiration.

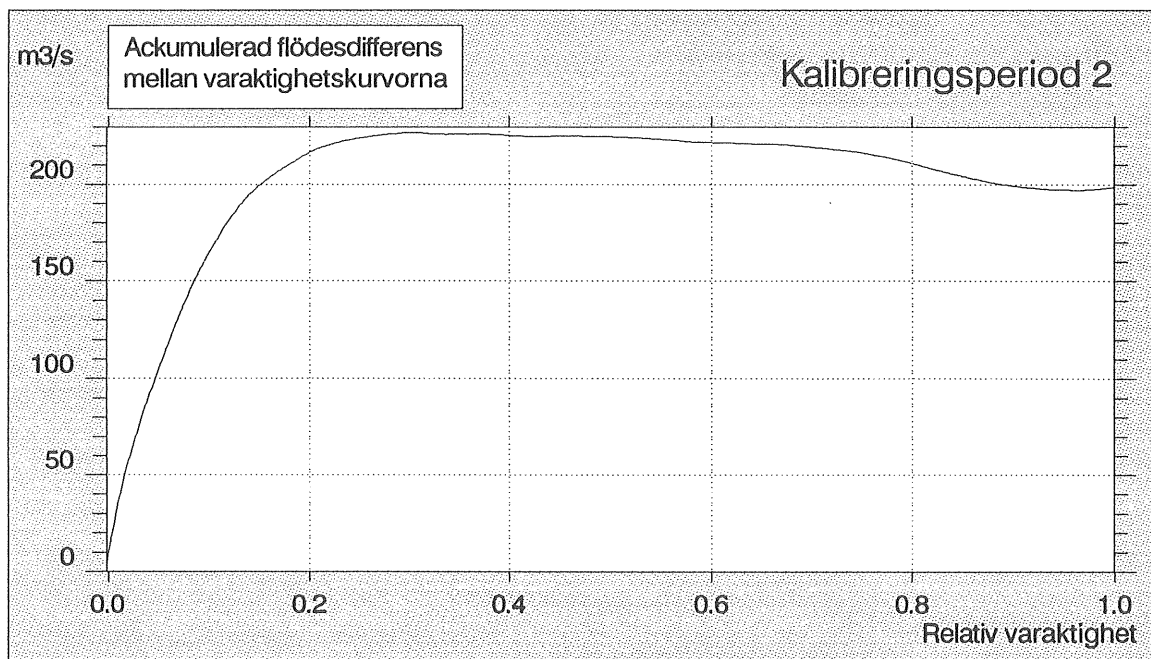
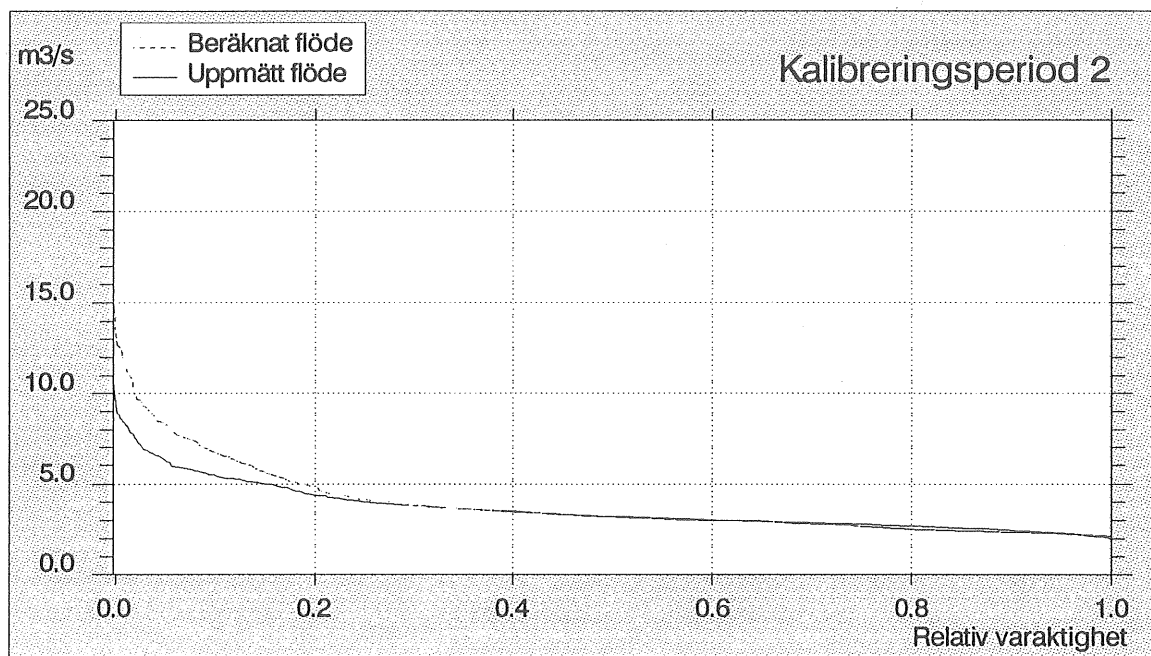
Appendix 1

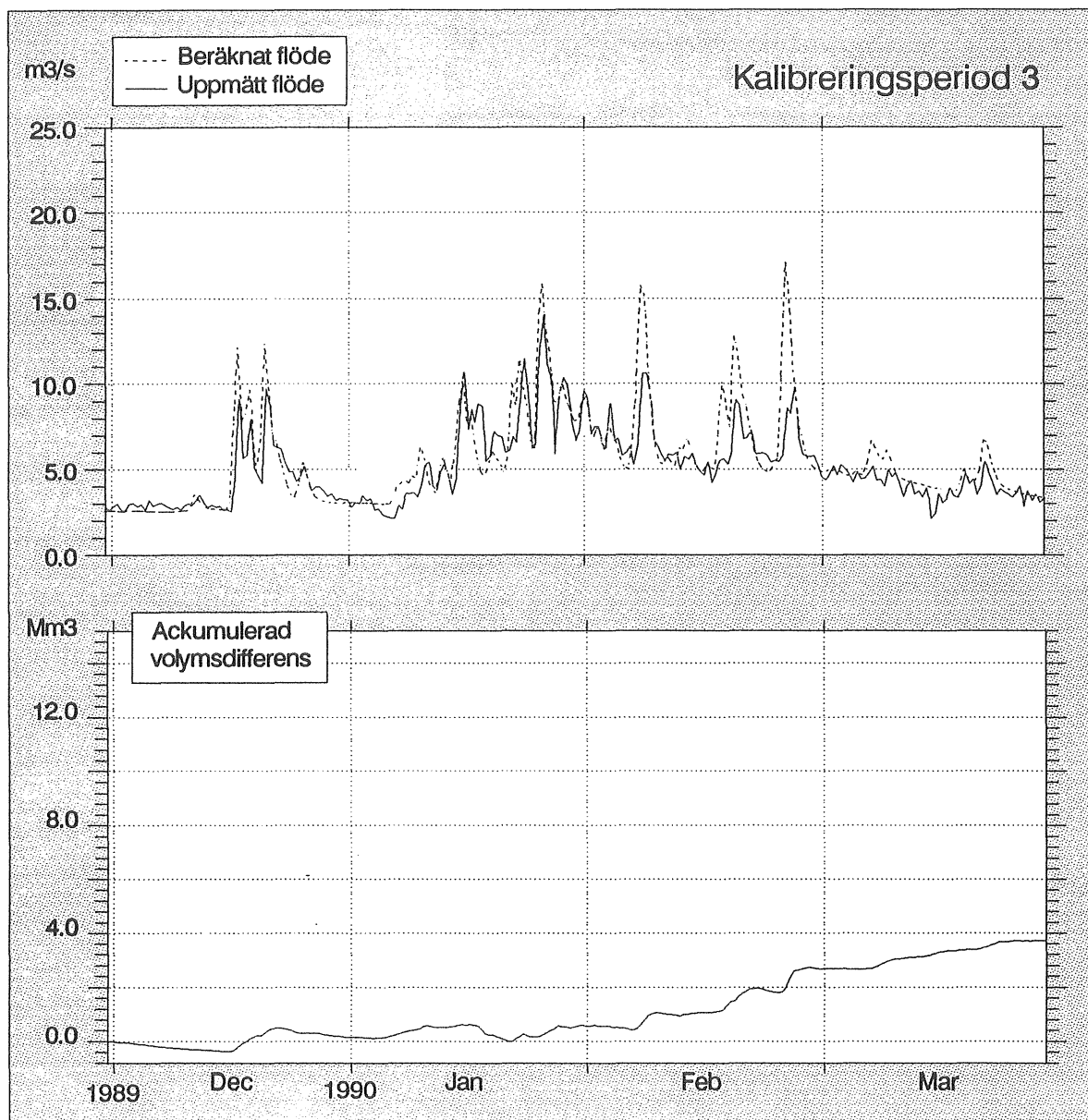
Kalibreringsresultat i diagramform

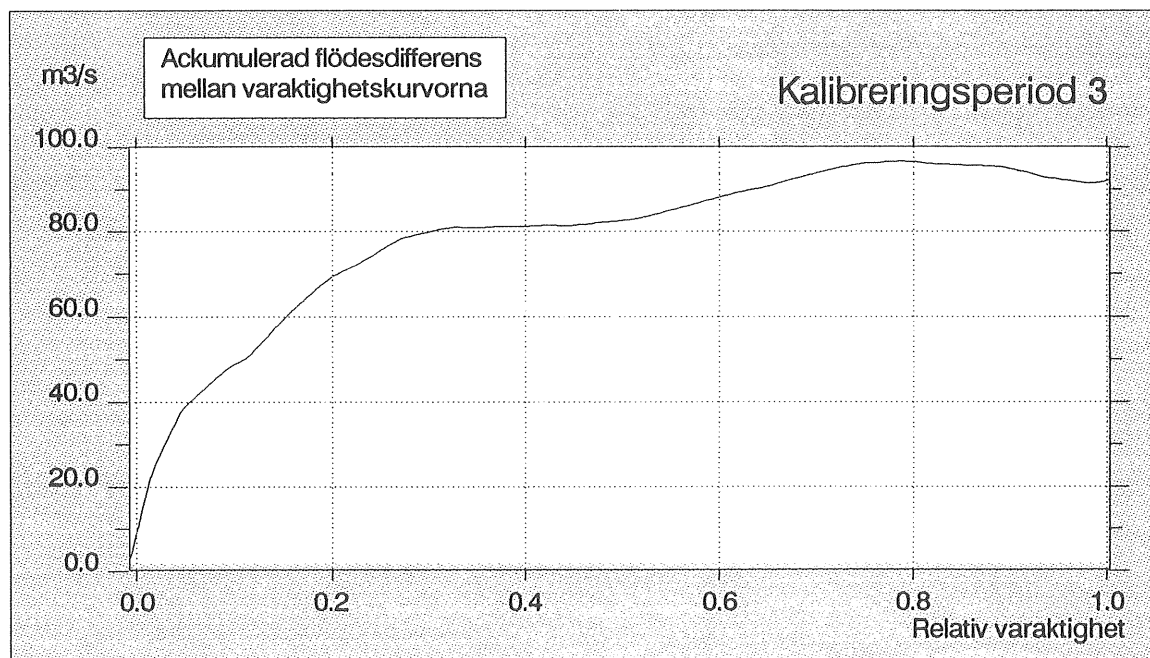
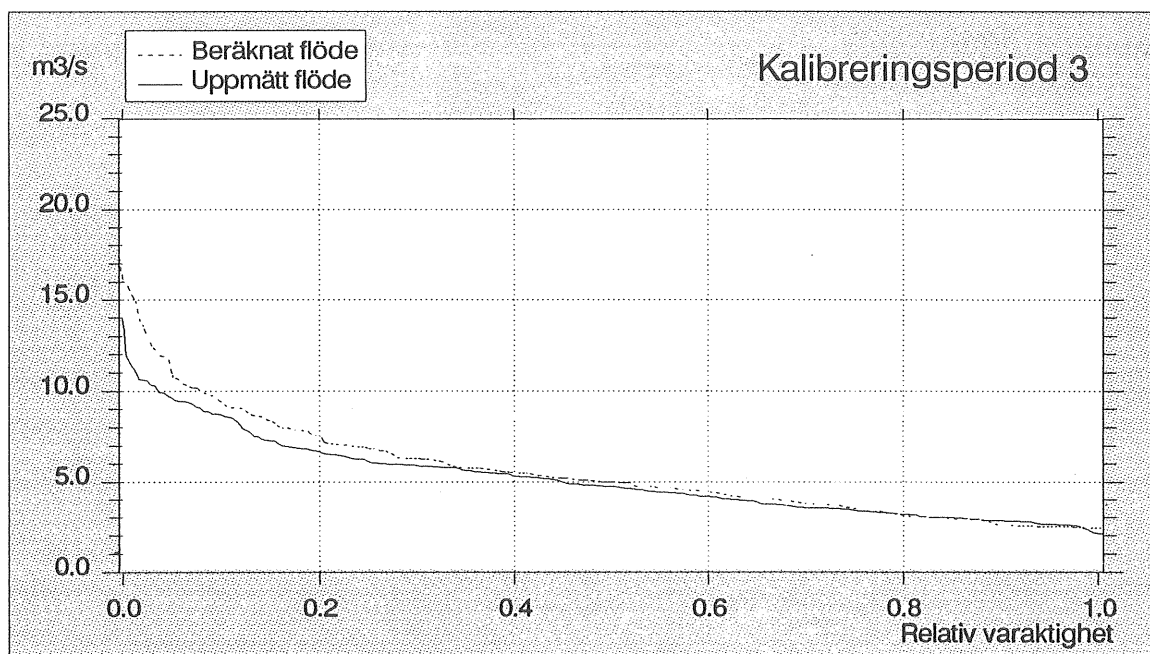


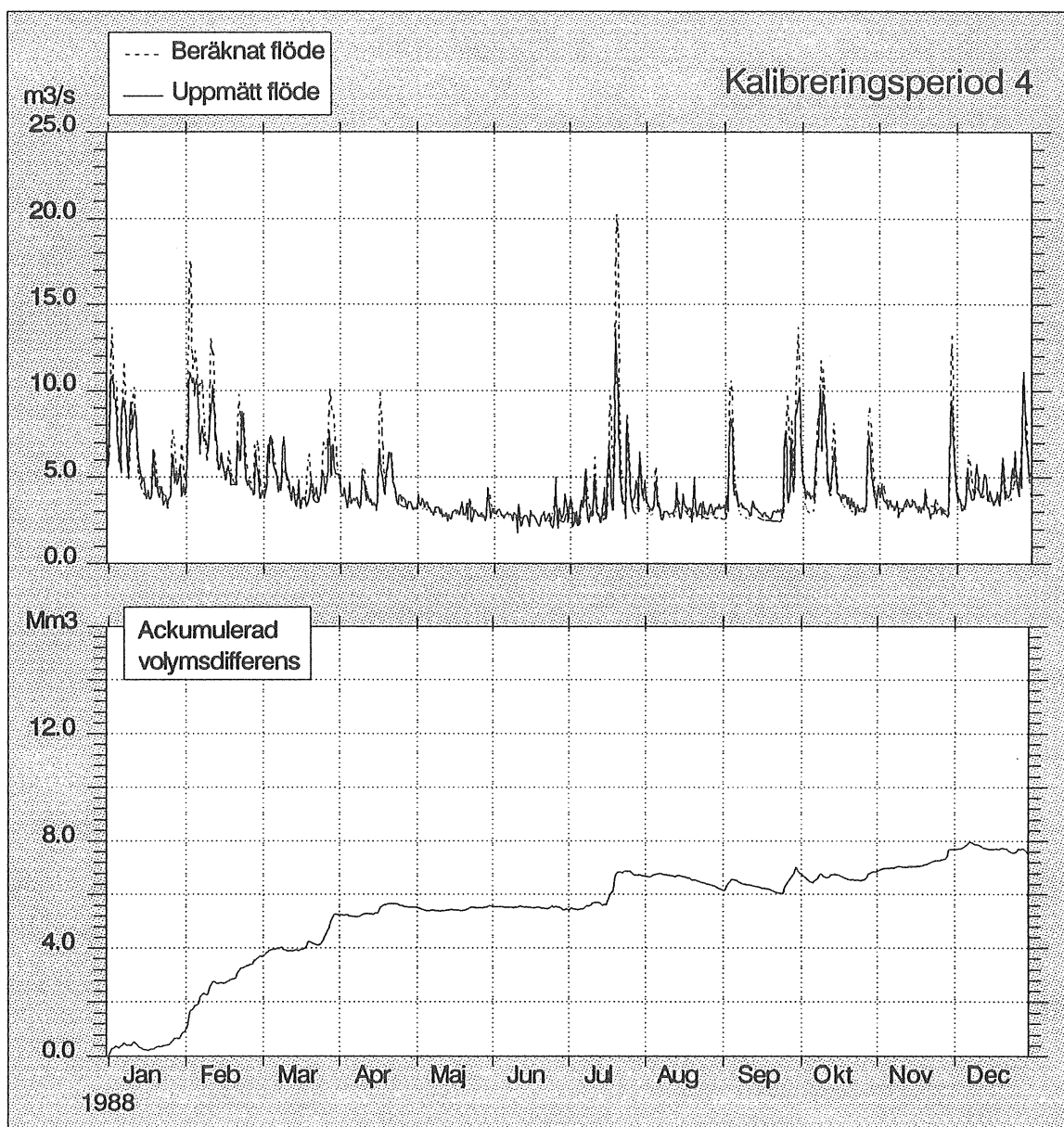


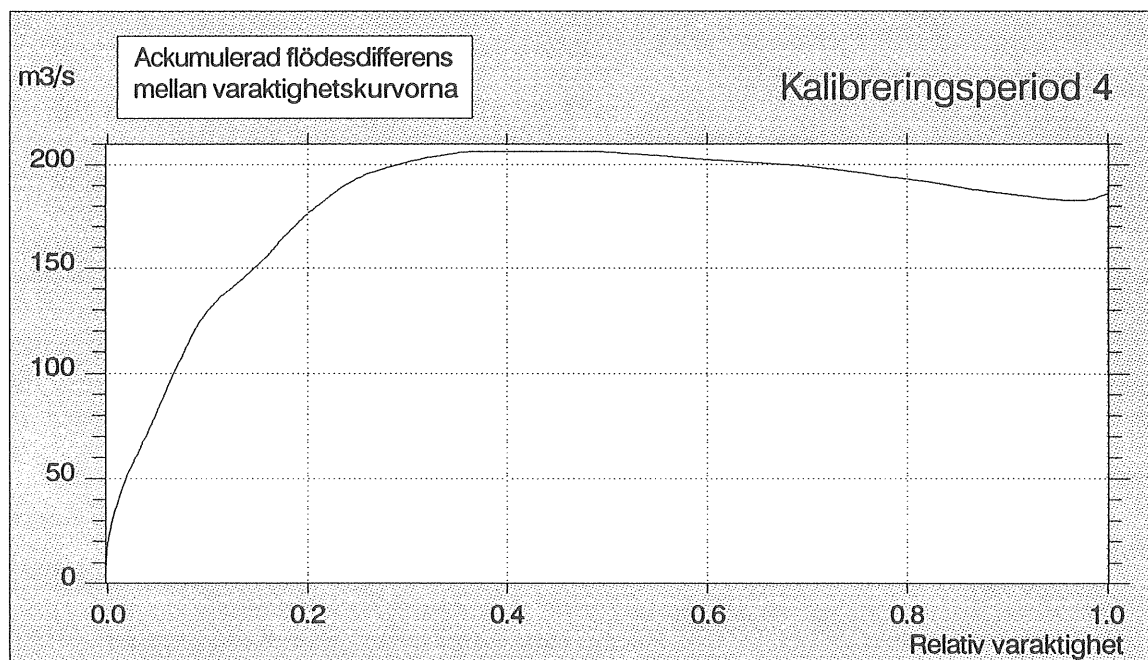
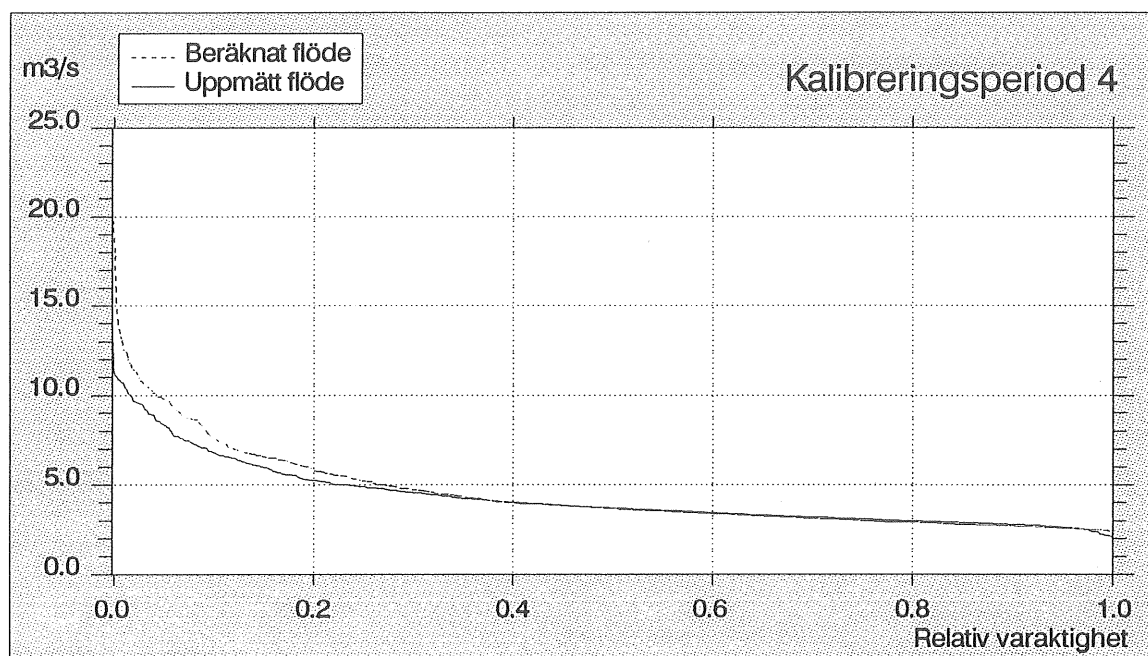


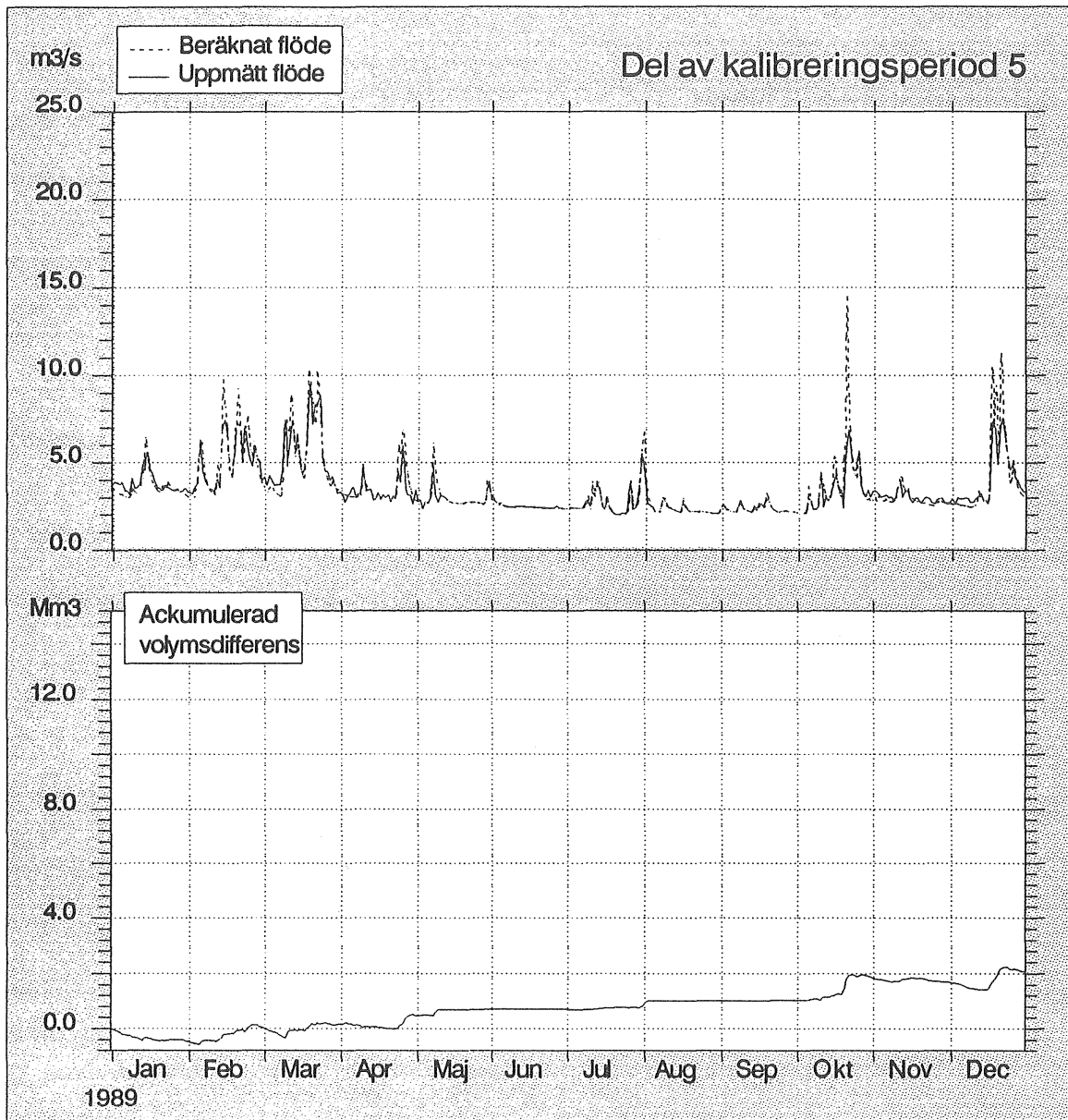


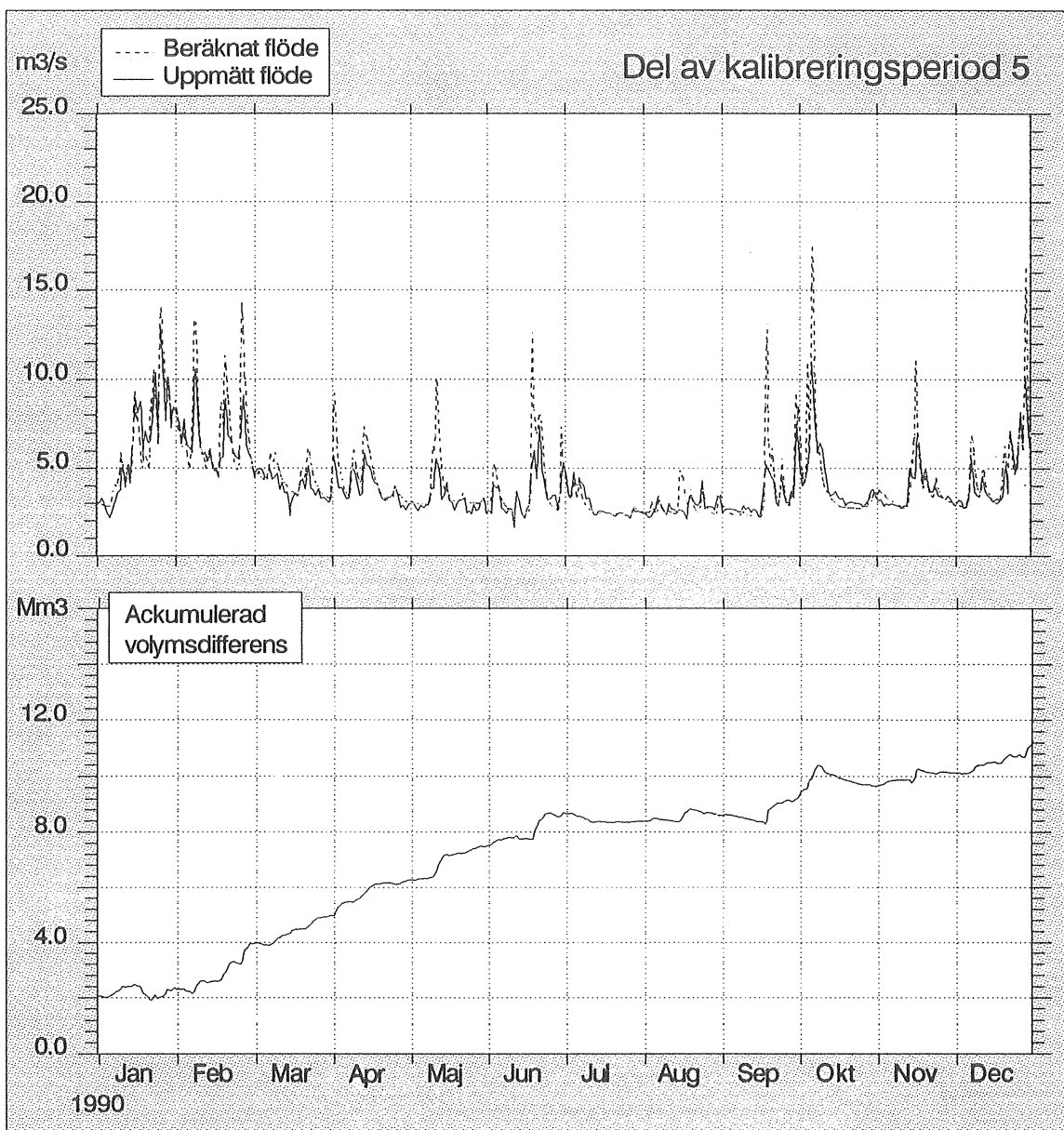


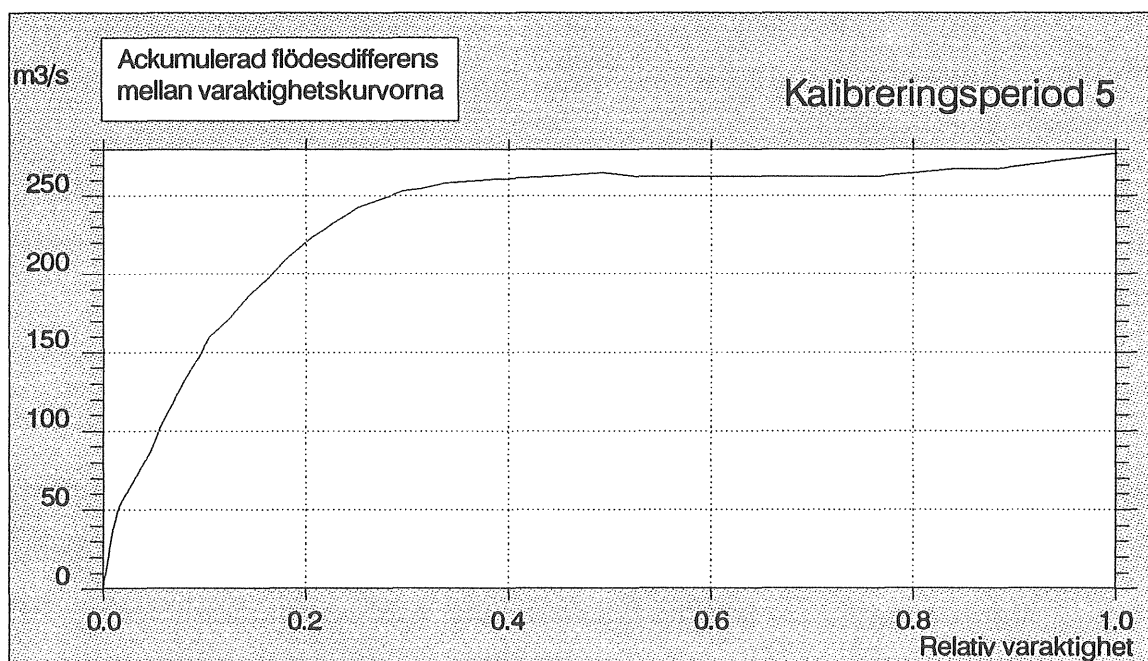
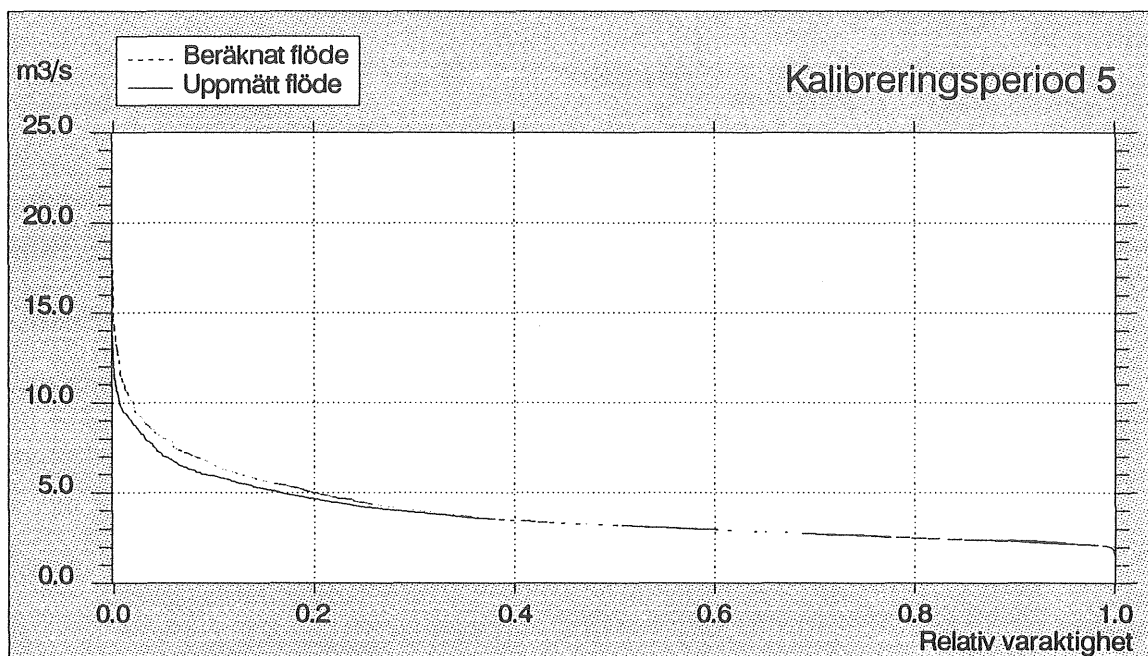


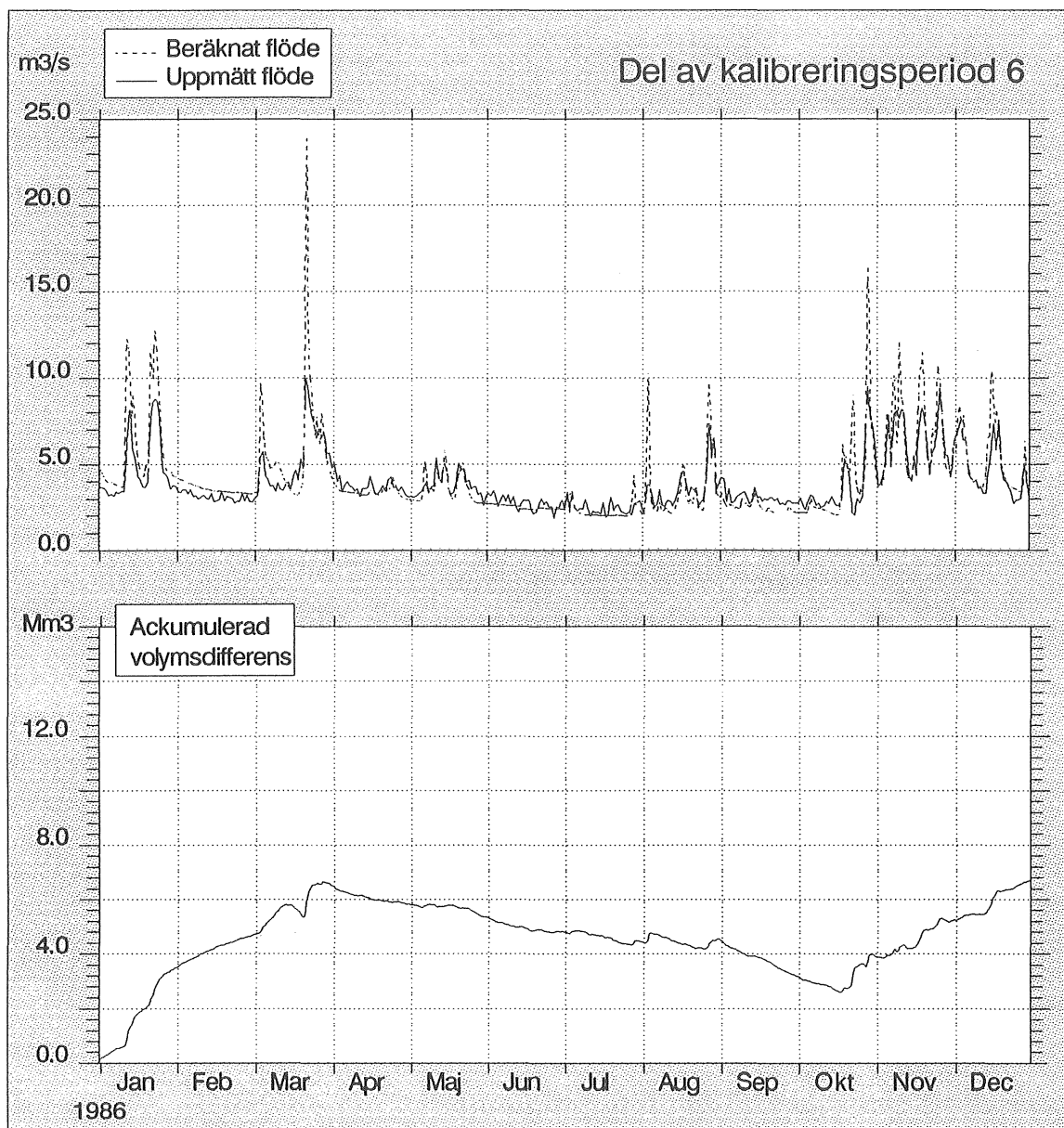


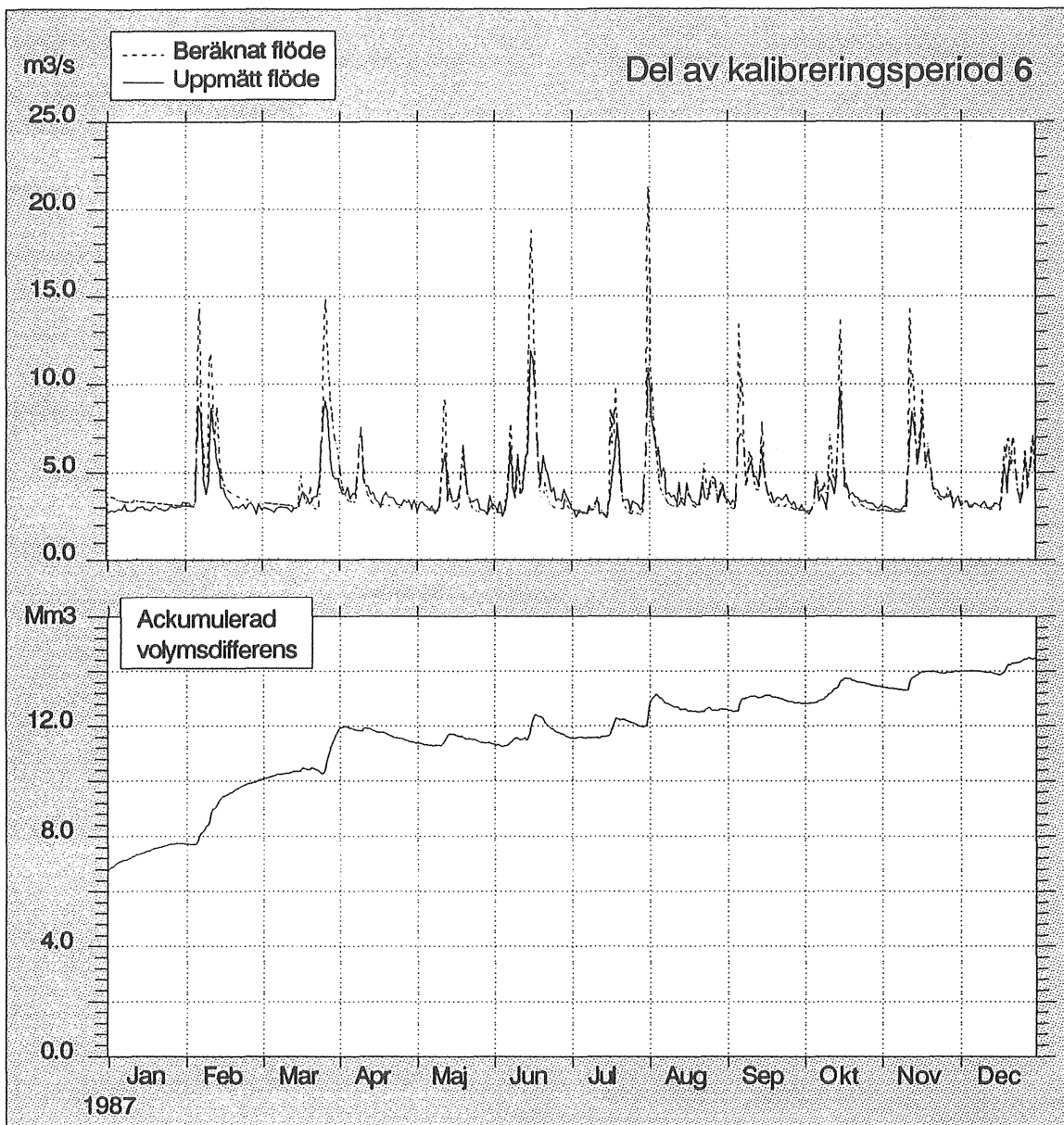


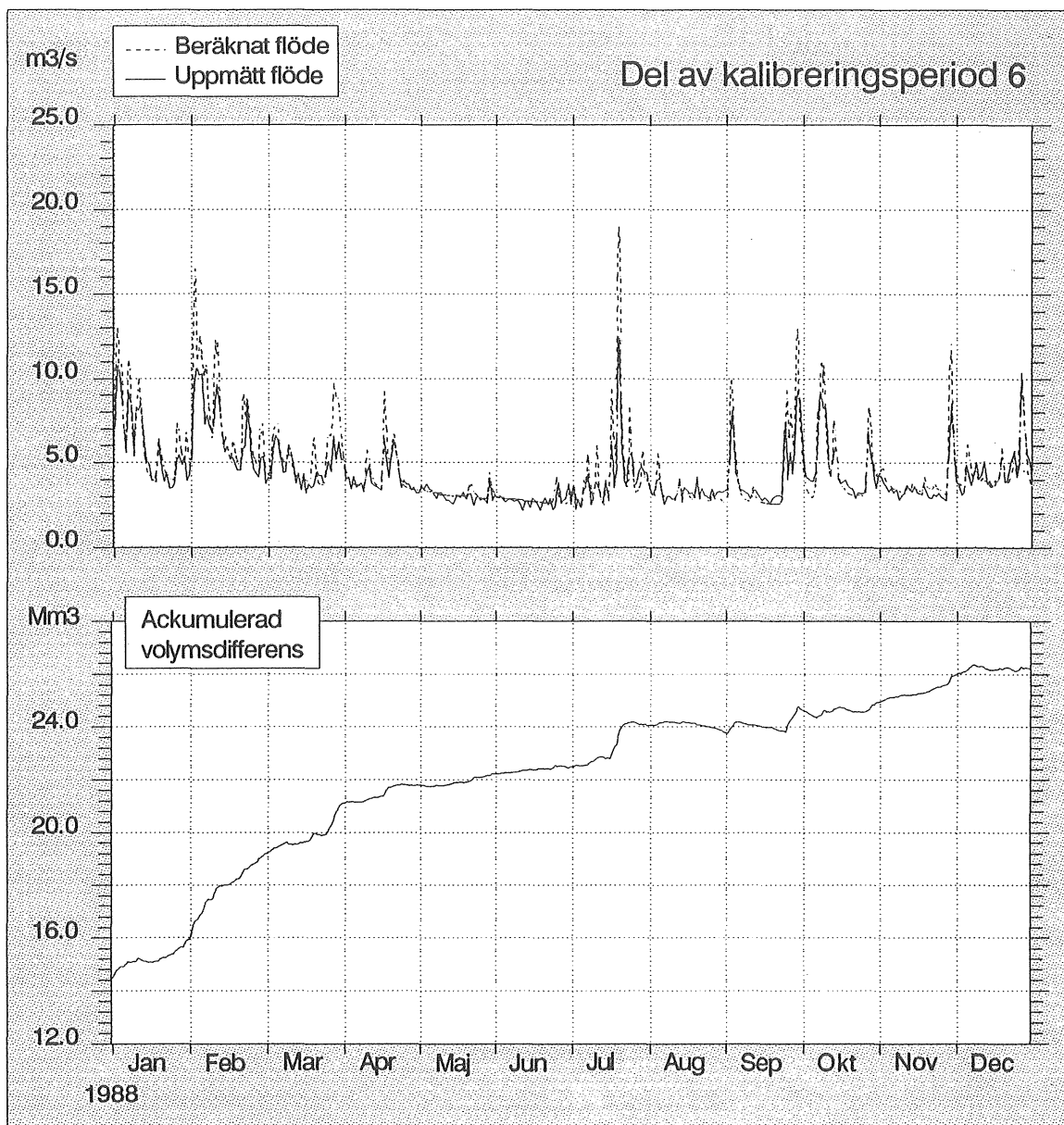


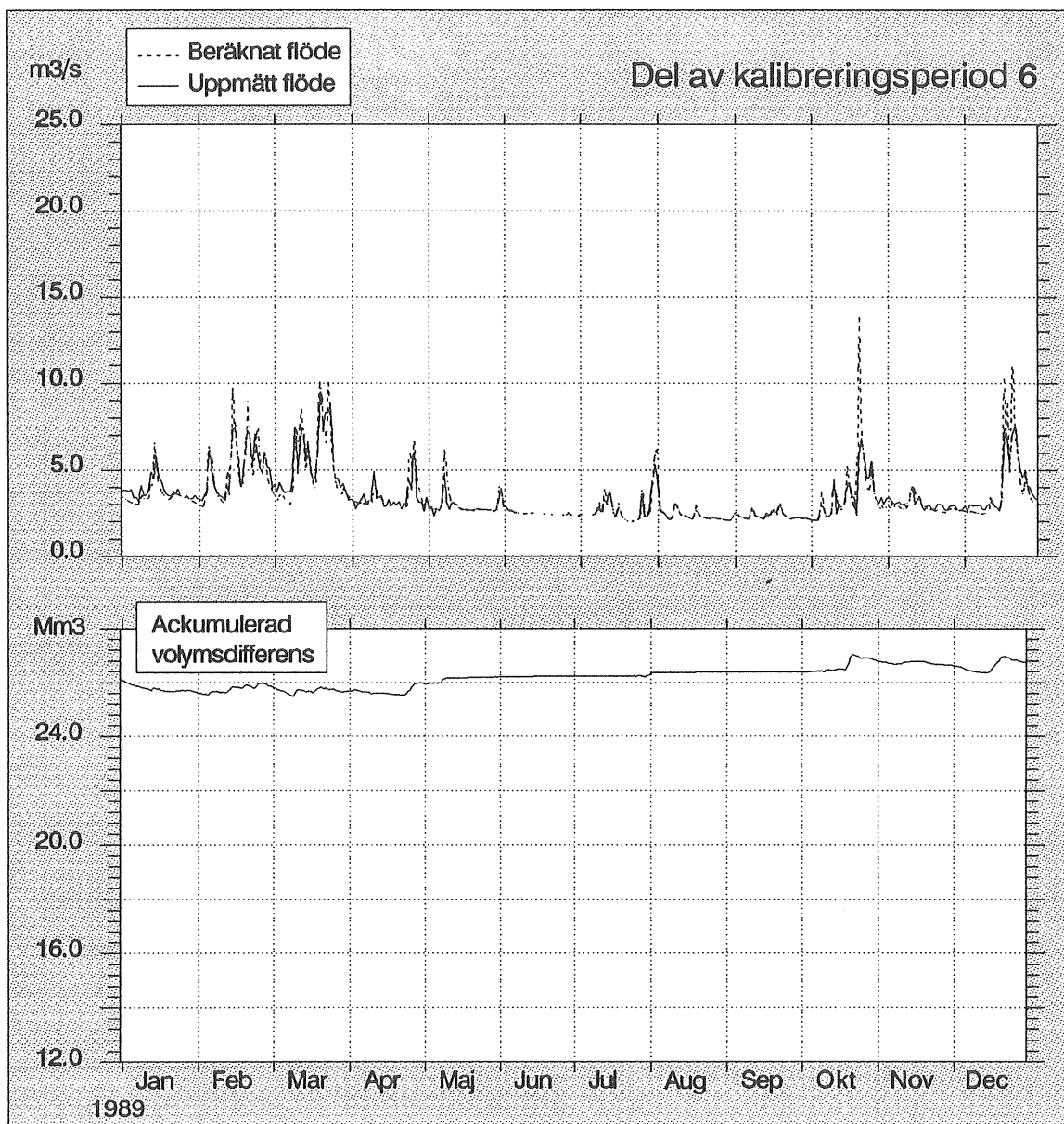


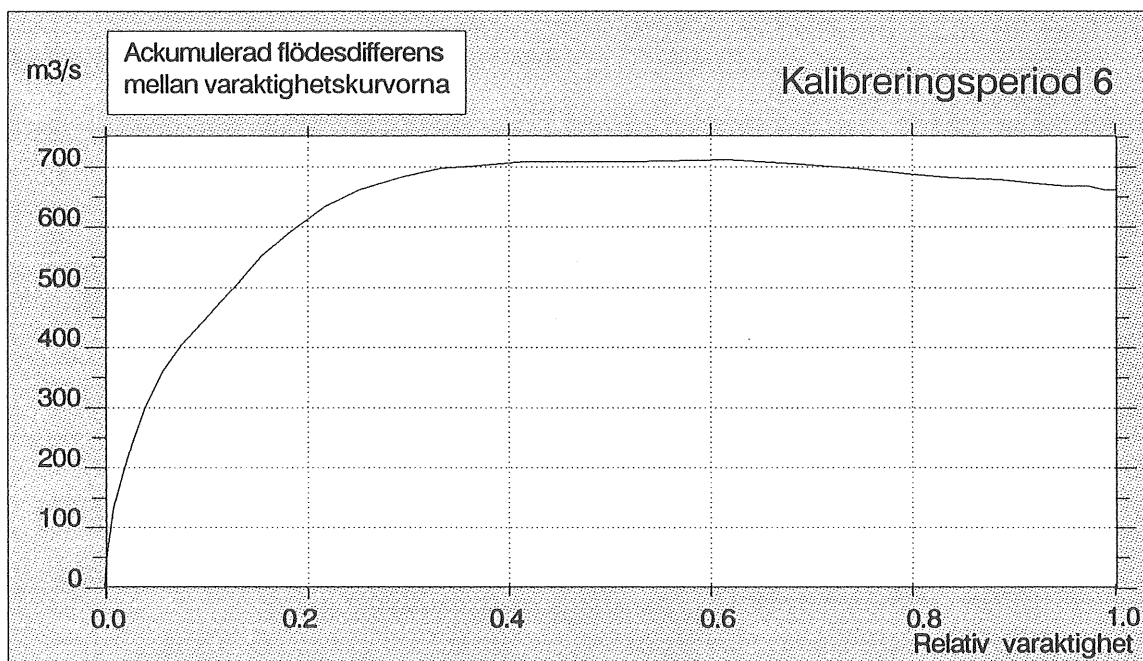
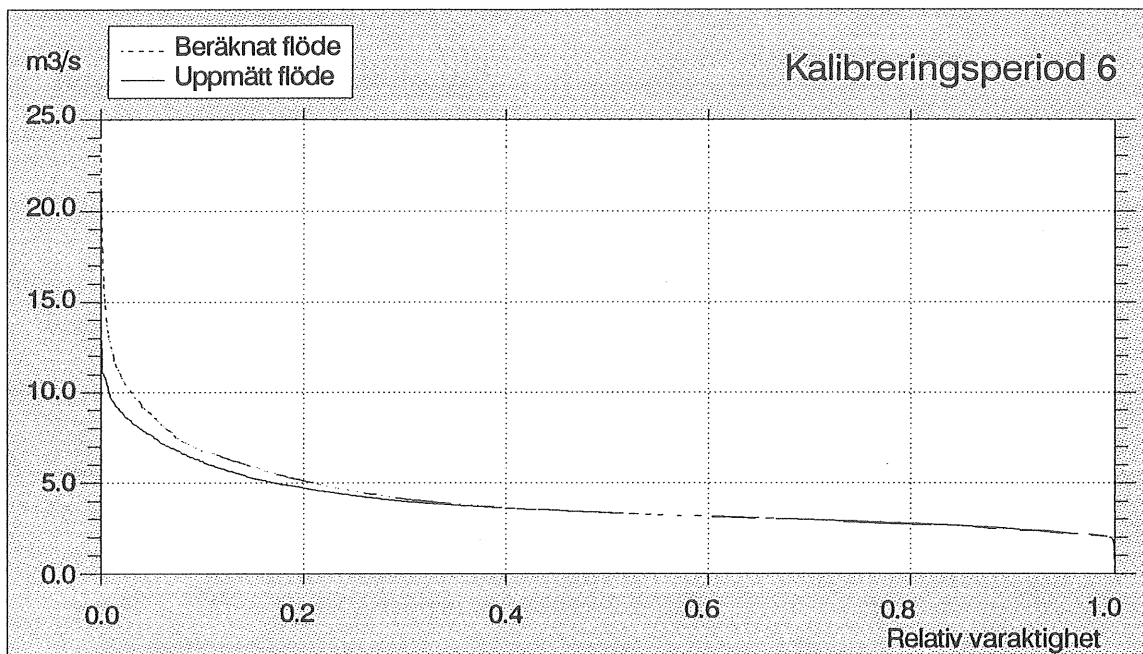


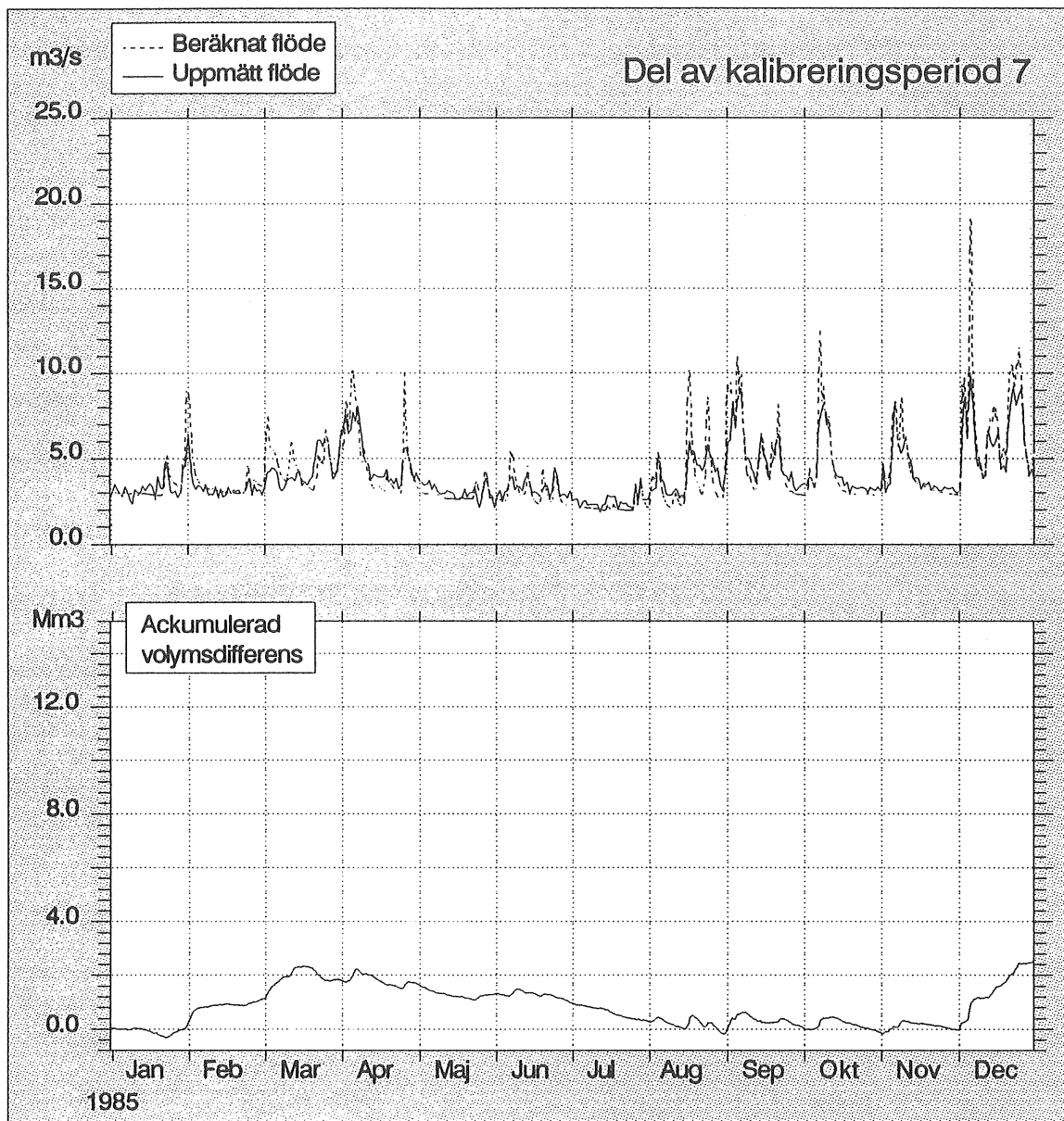


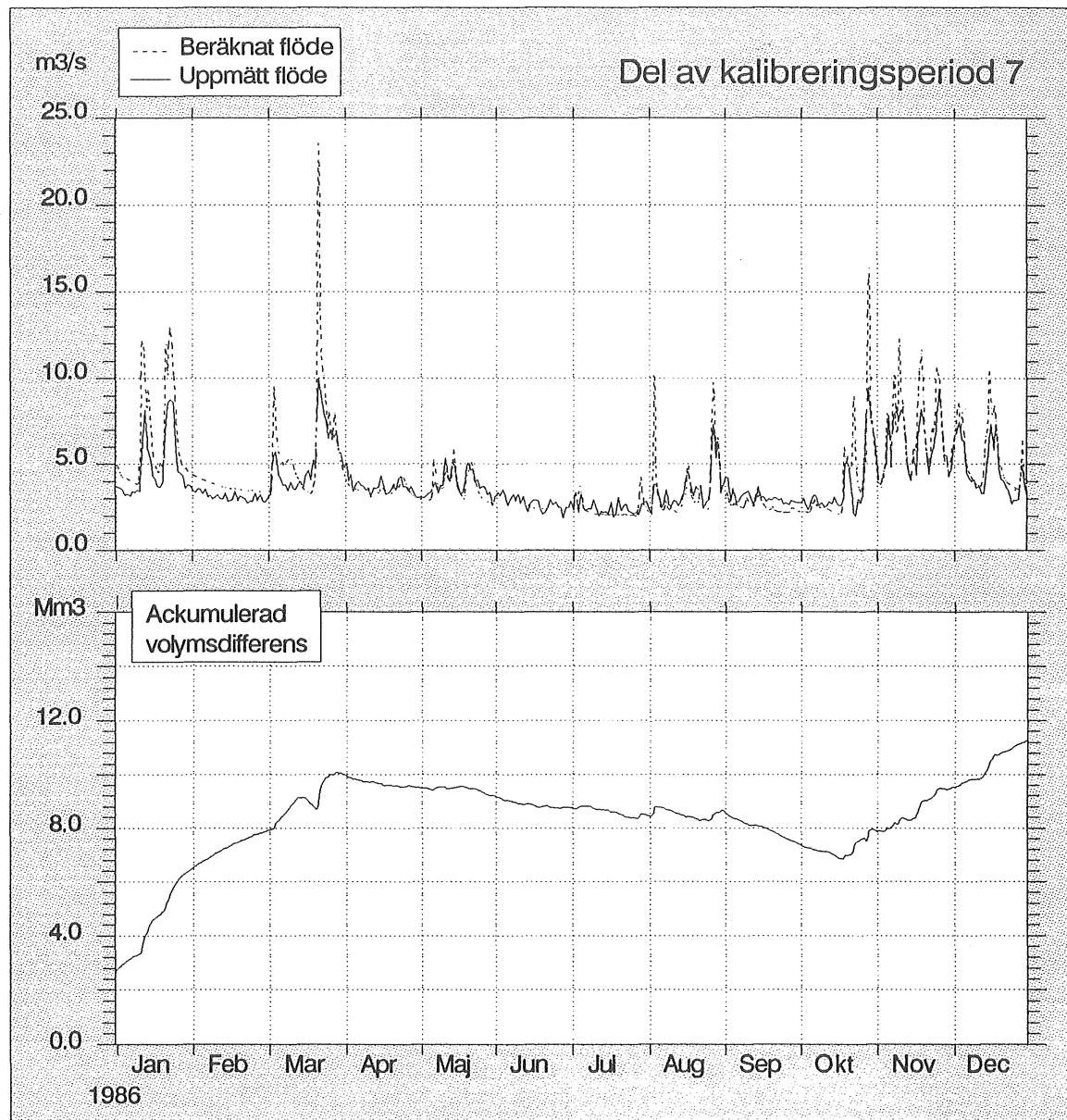


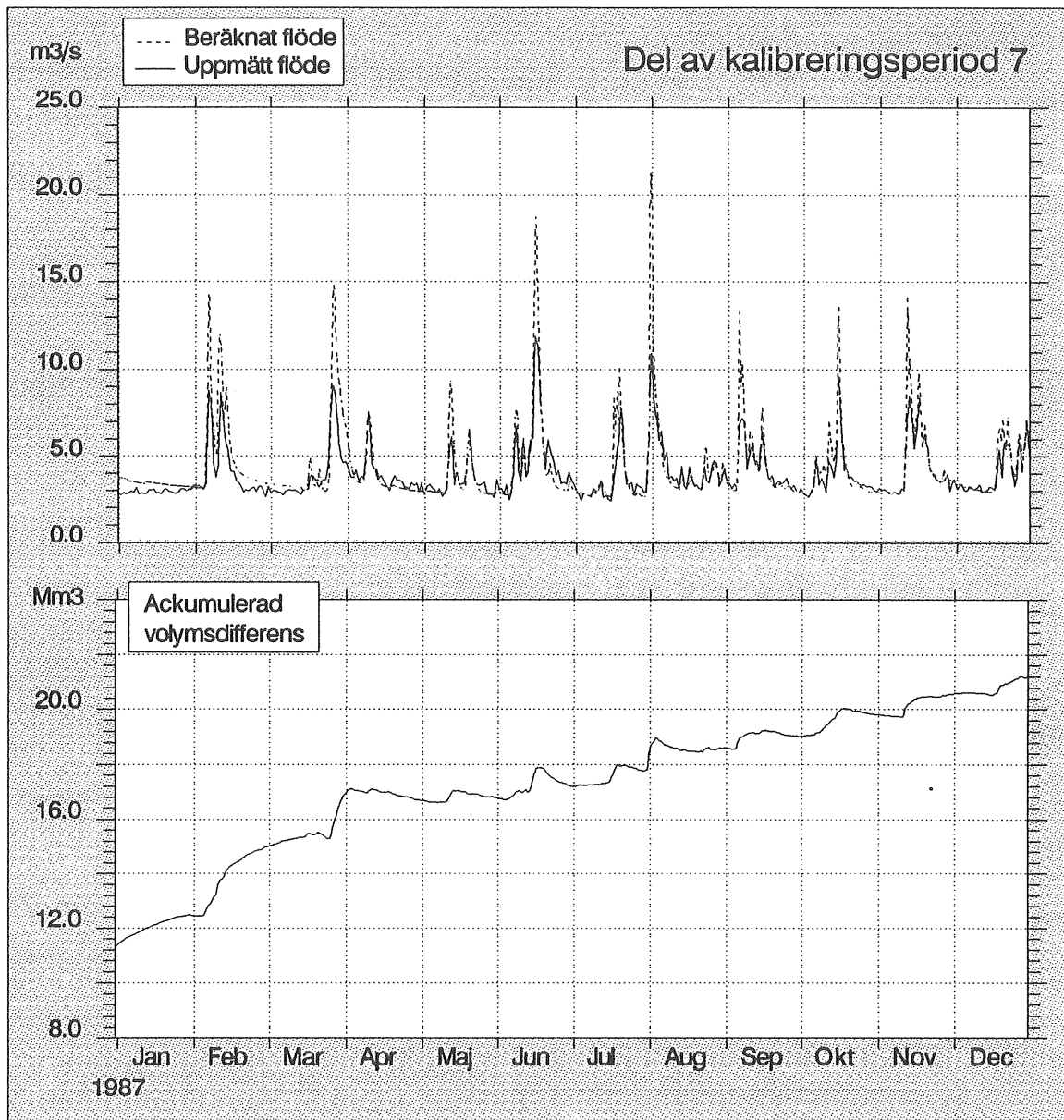


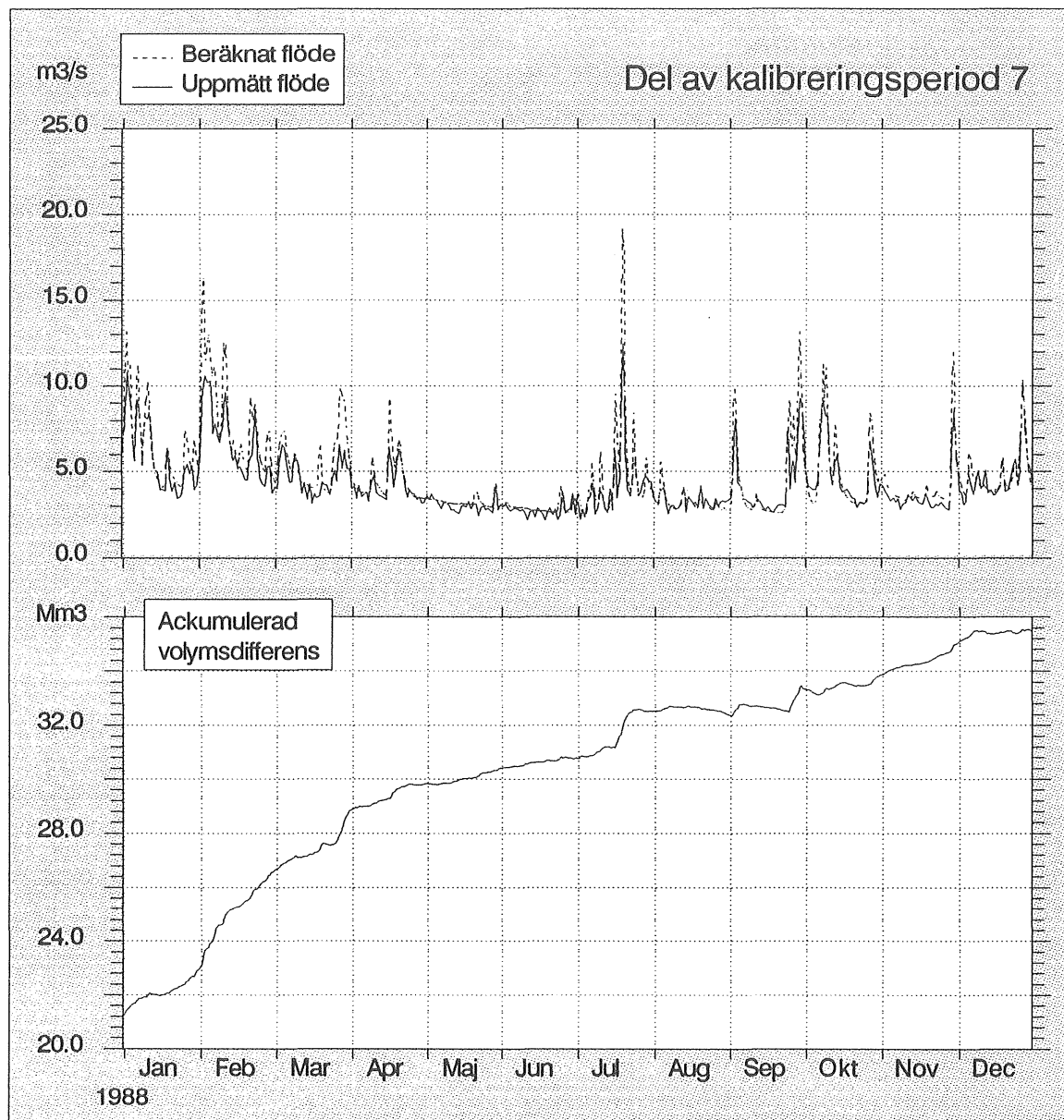


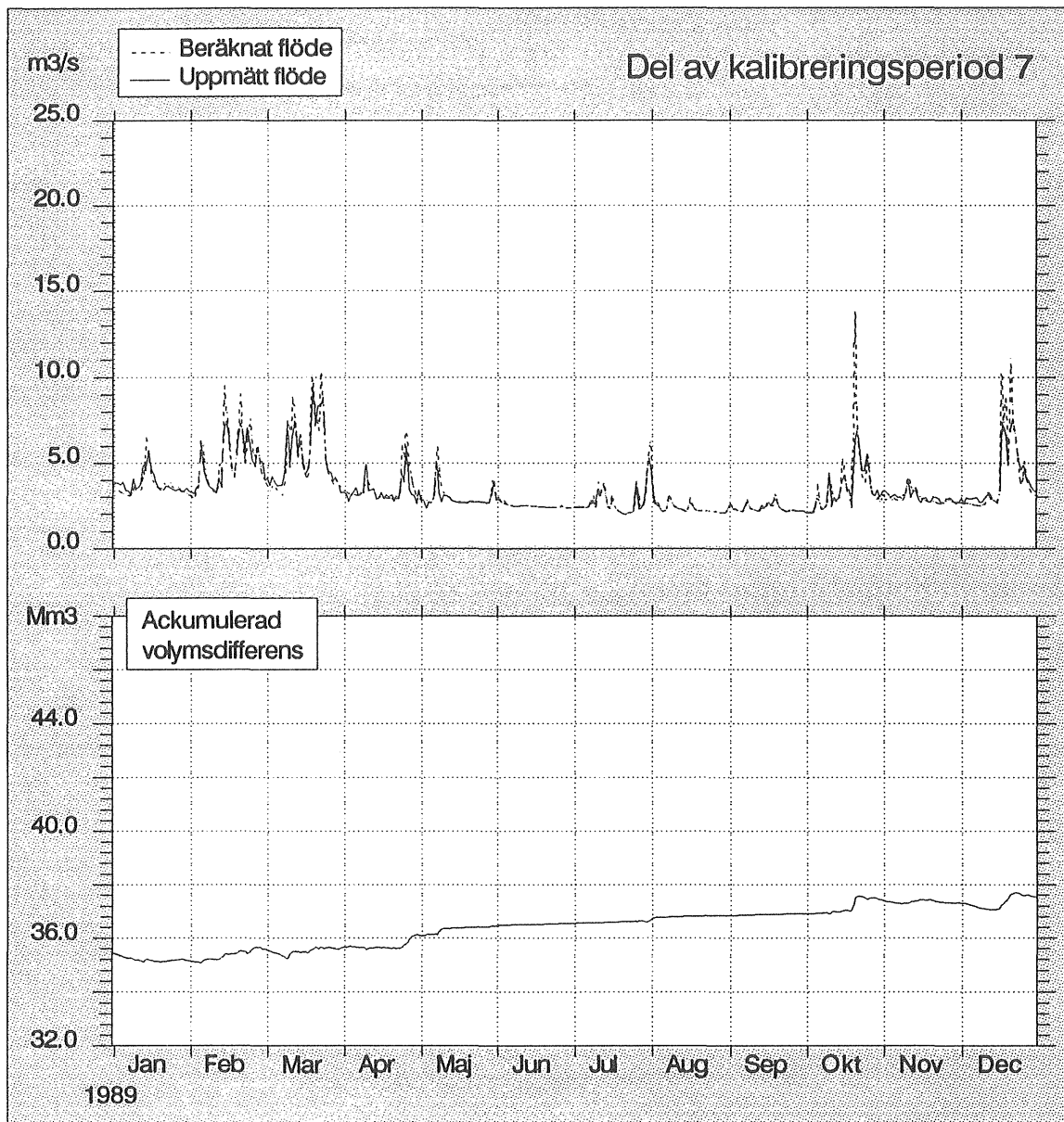


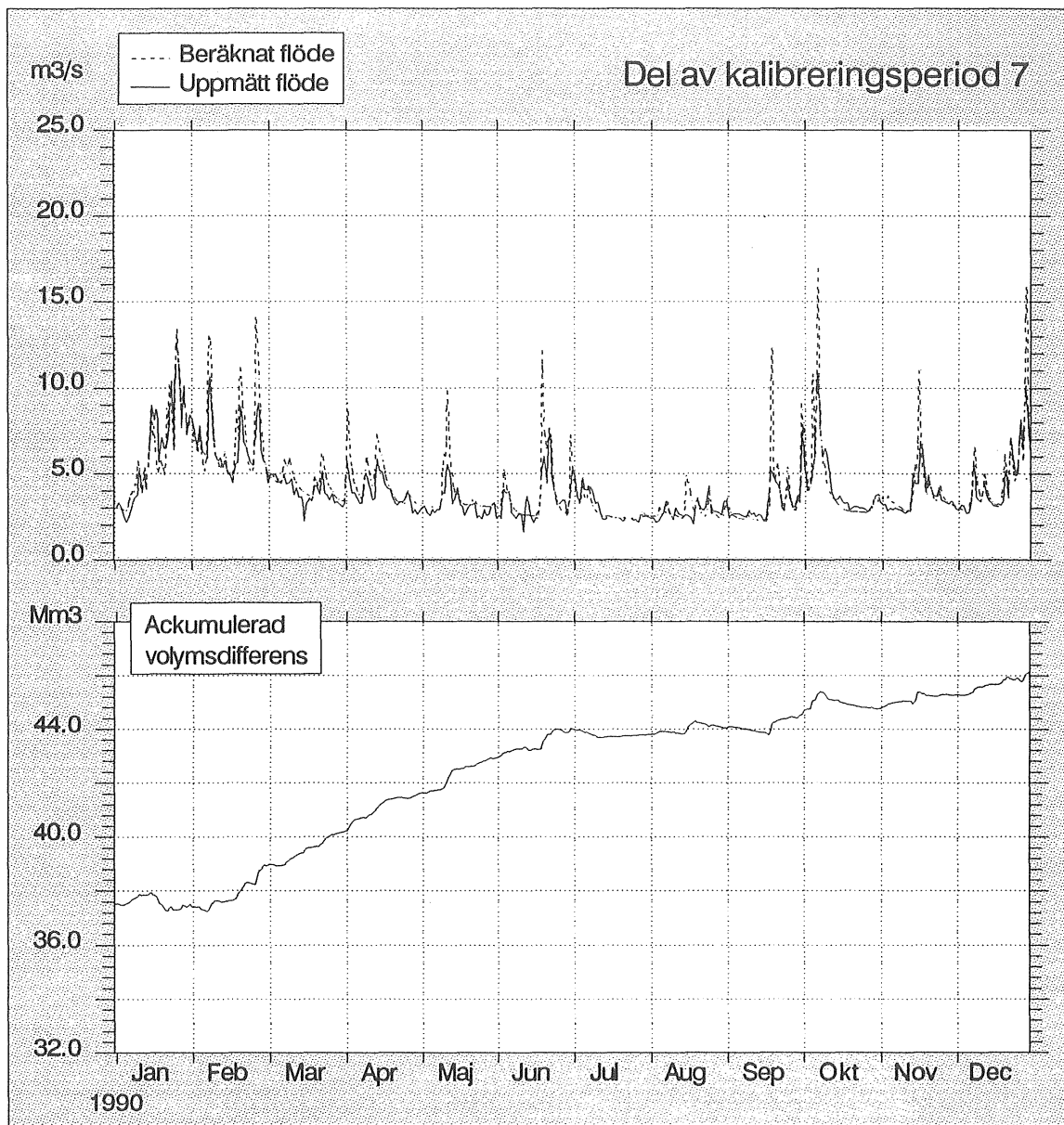


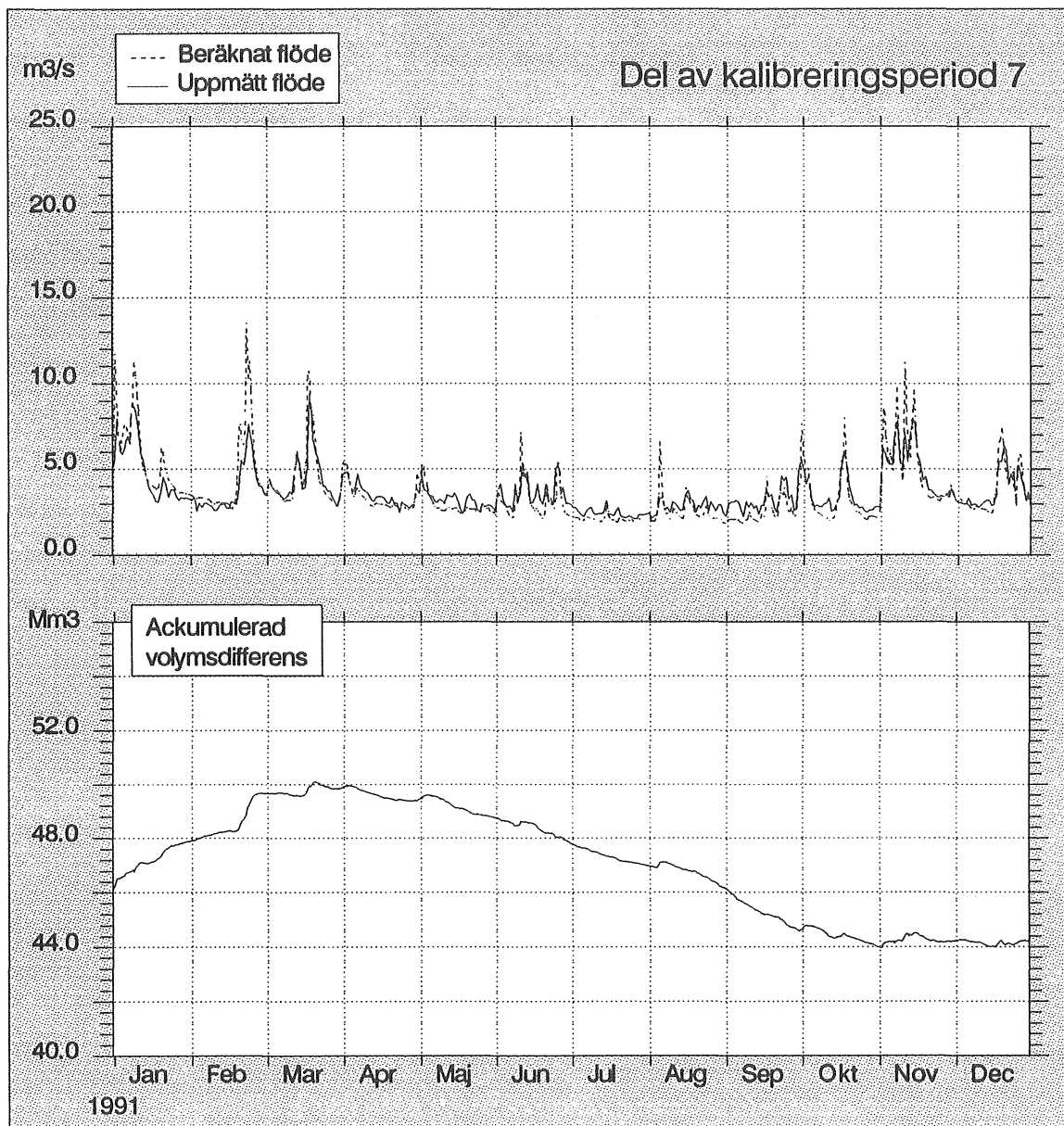


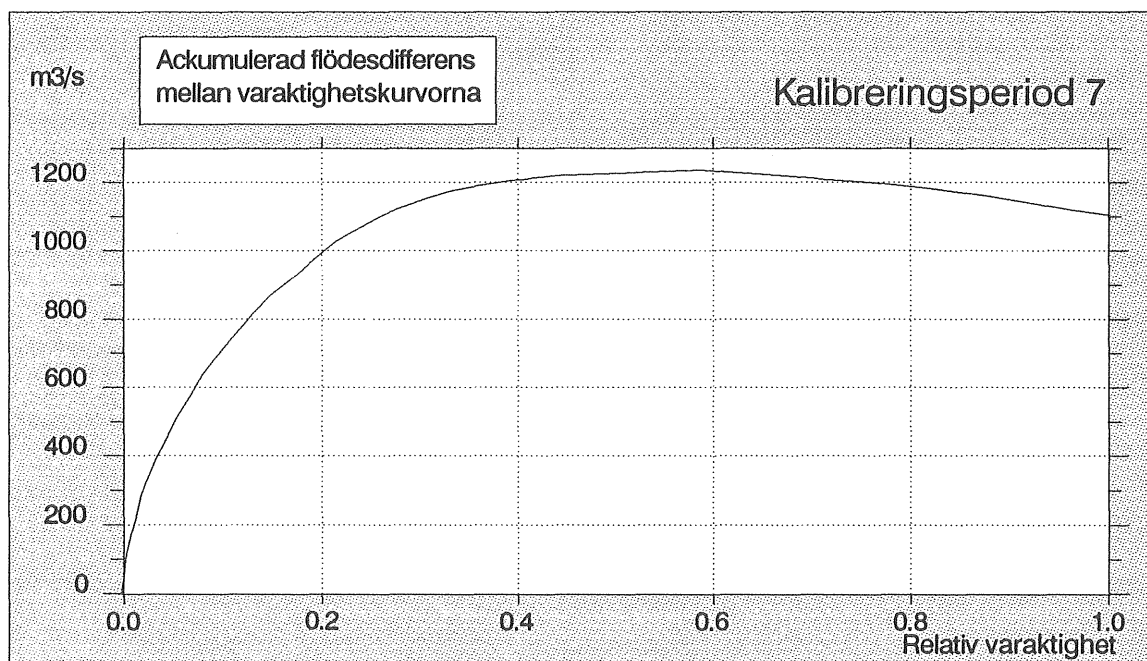
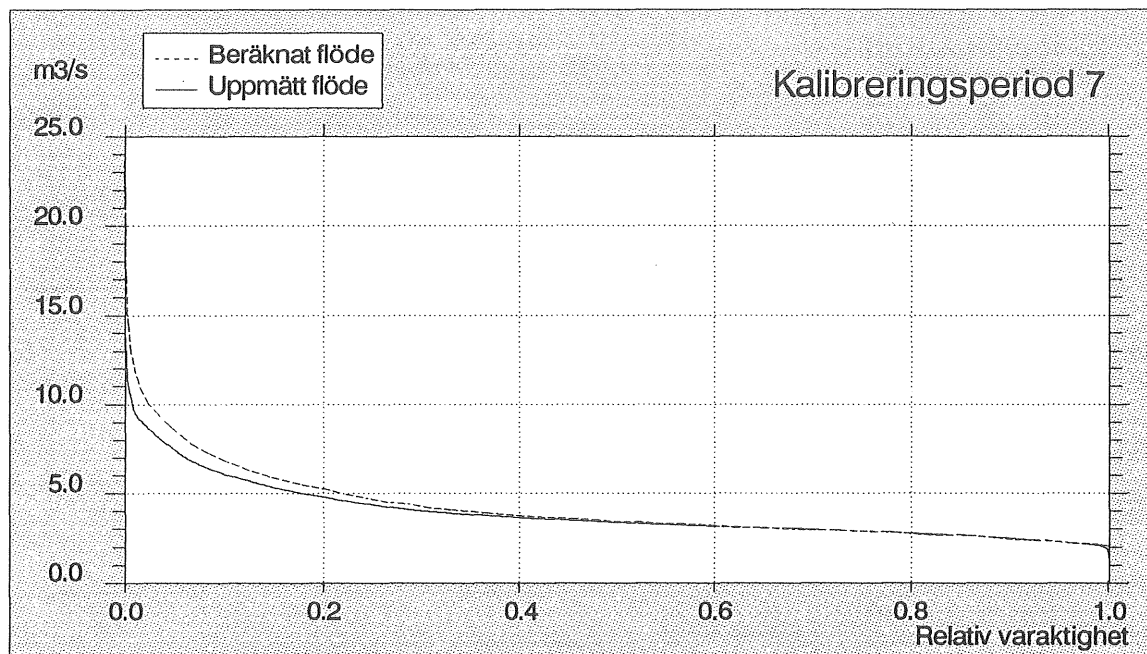






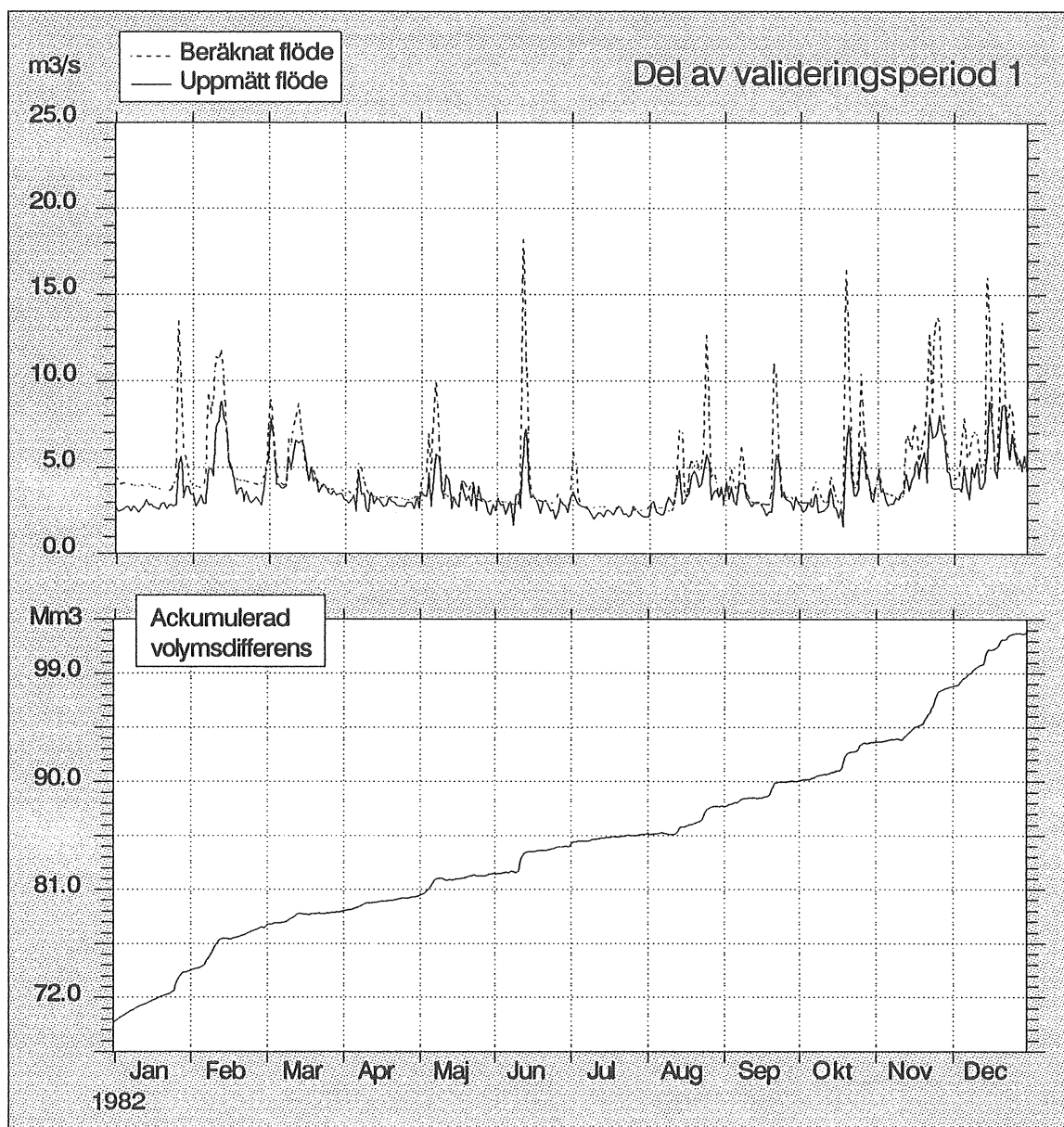


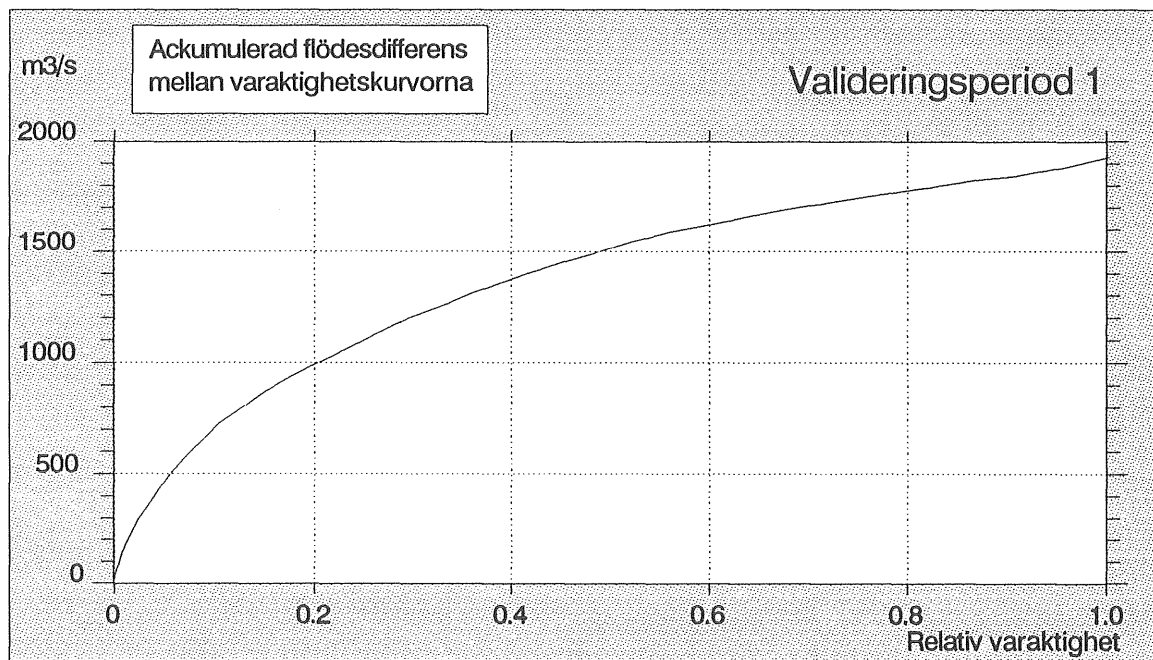
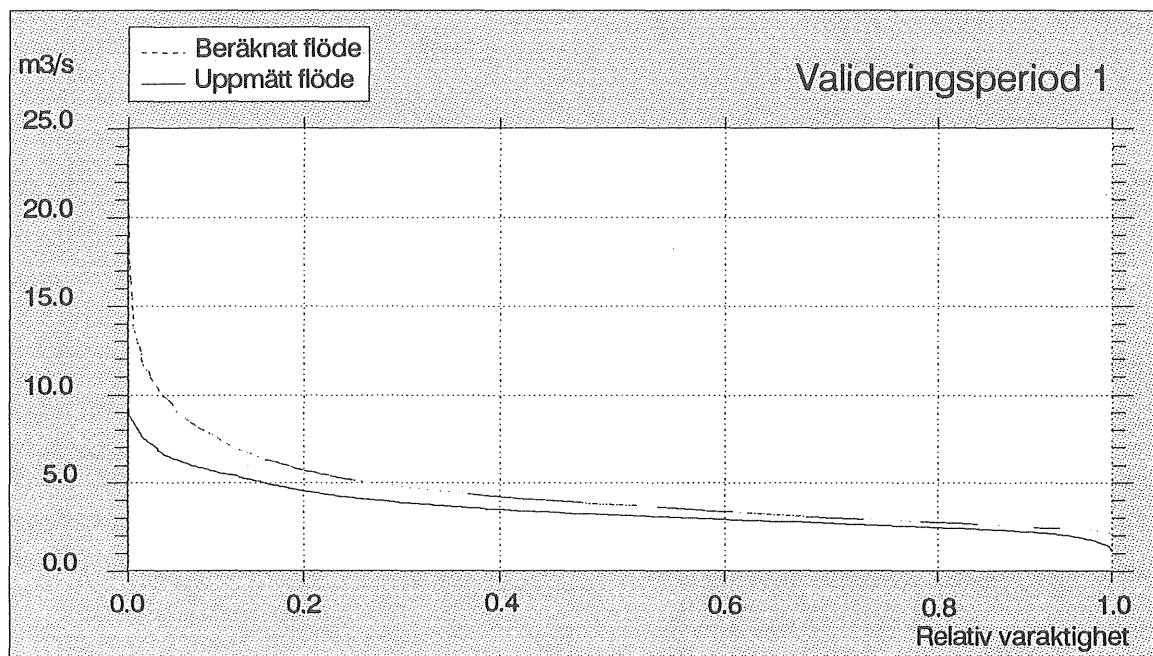


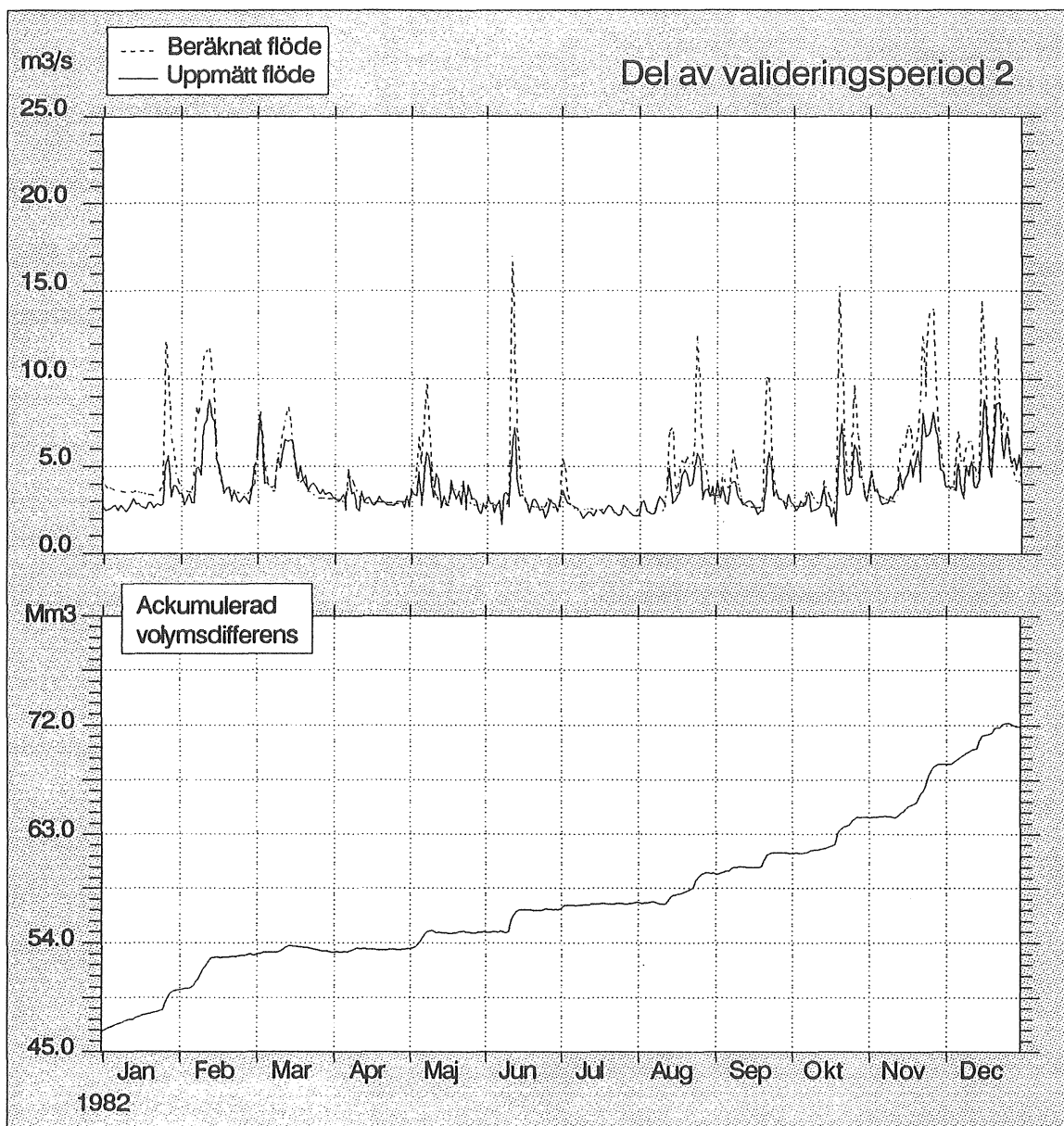


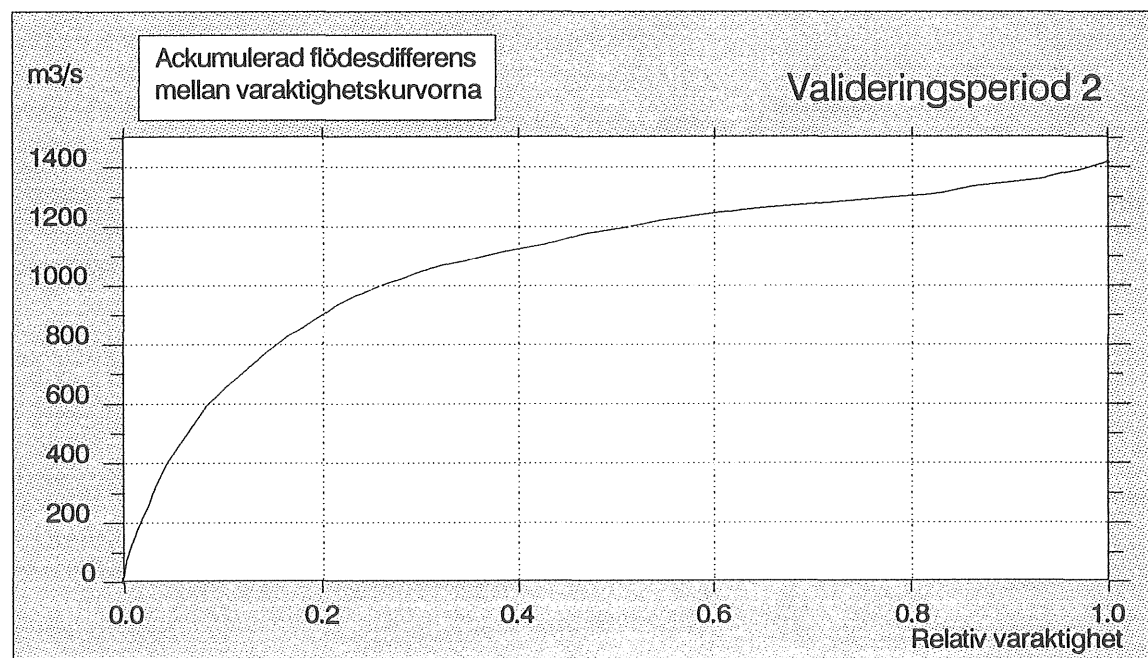
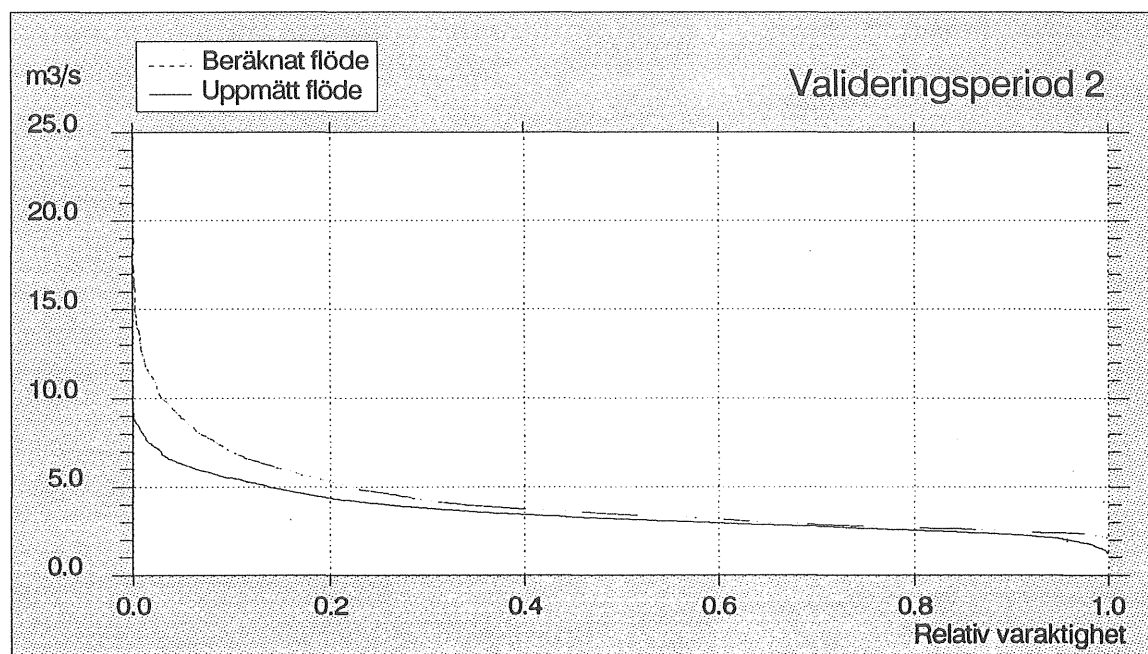
Appendix 2

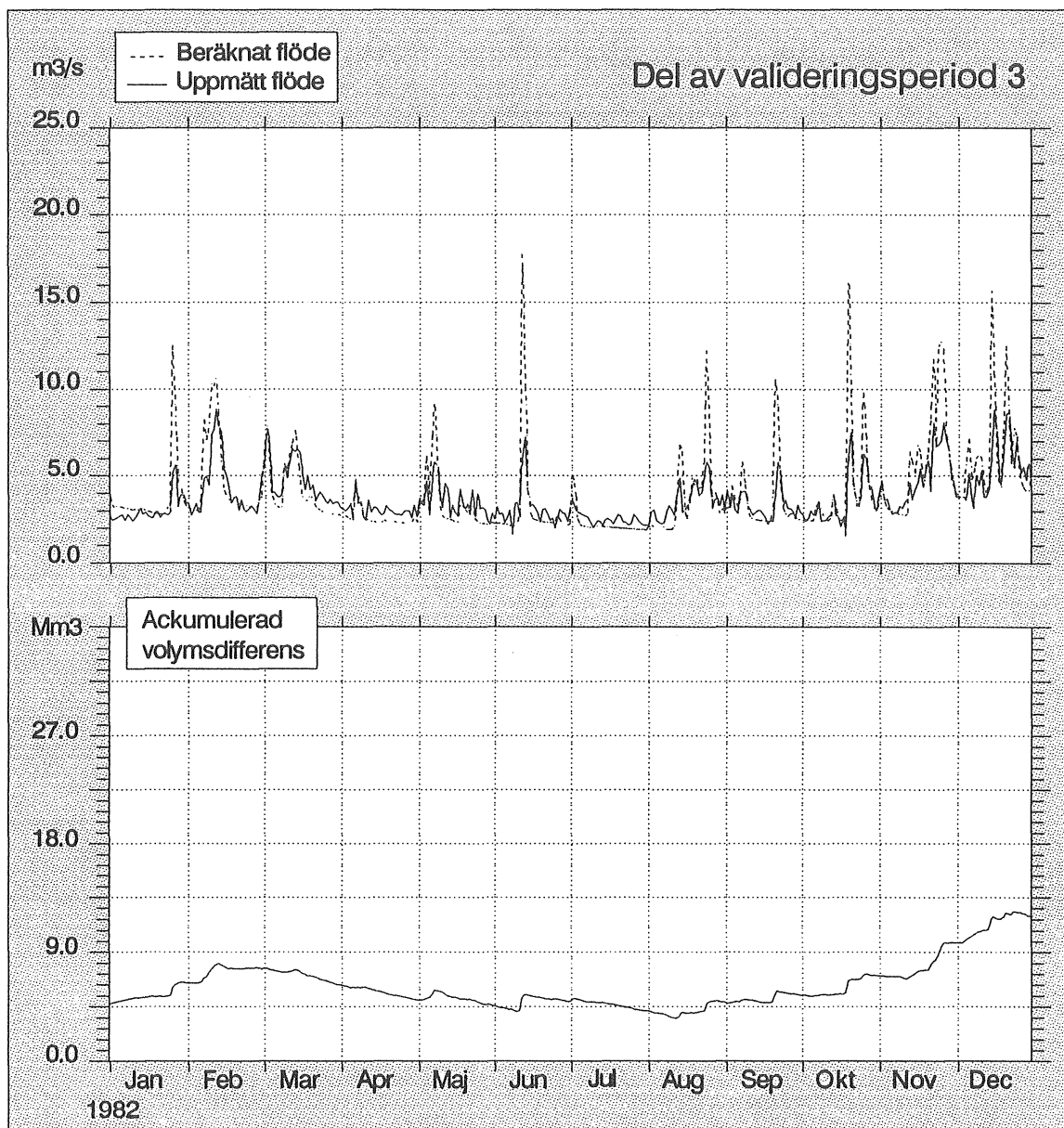
Valideringsresultat i diagramform

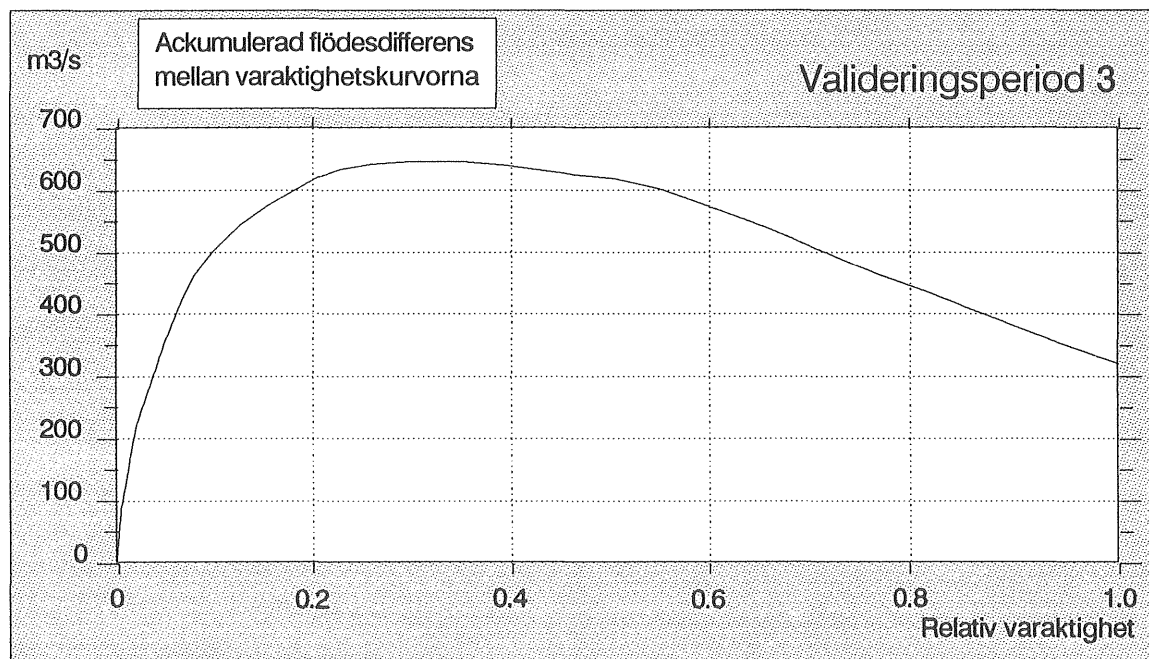
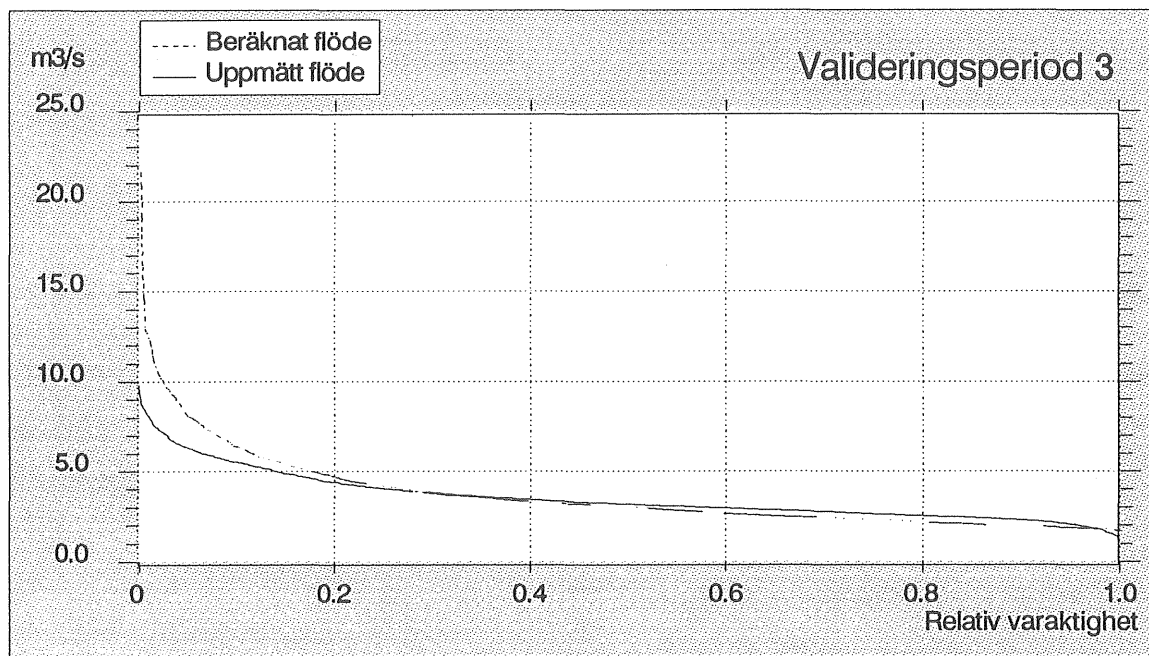


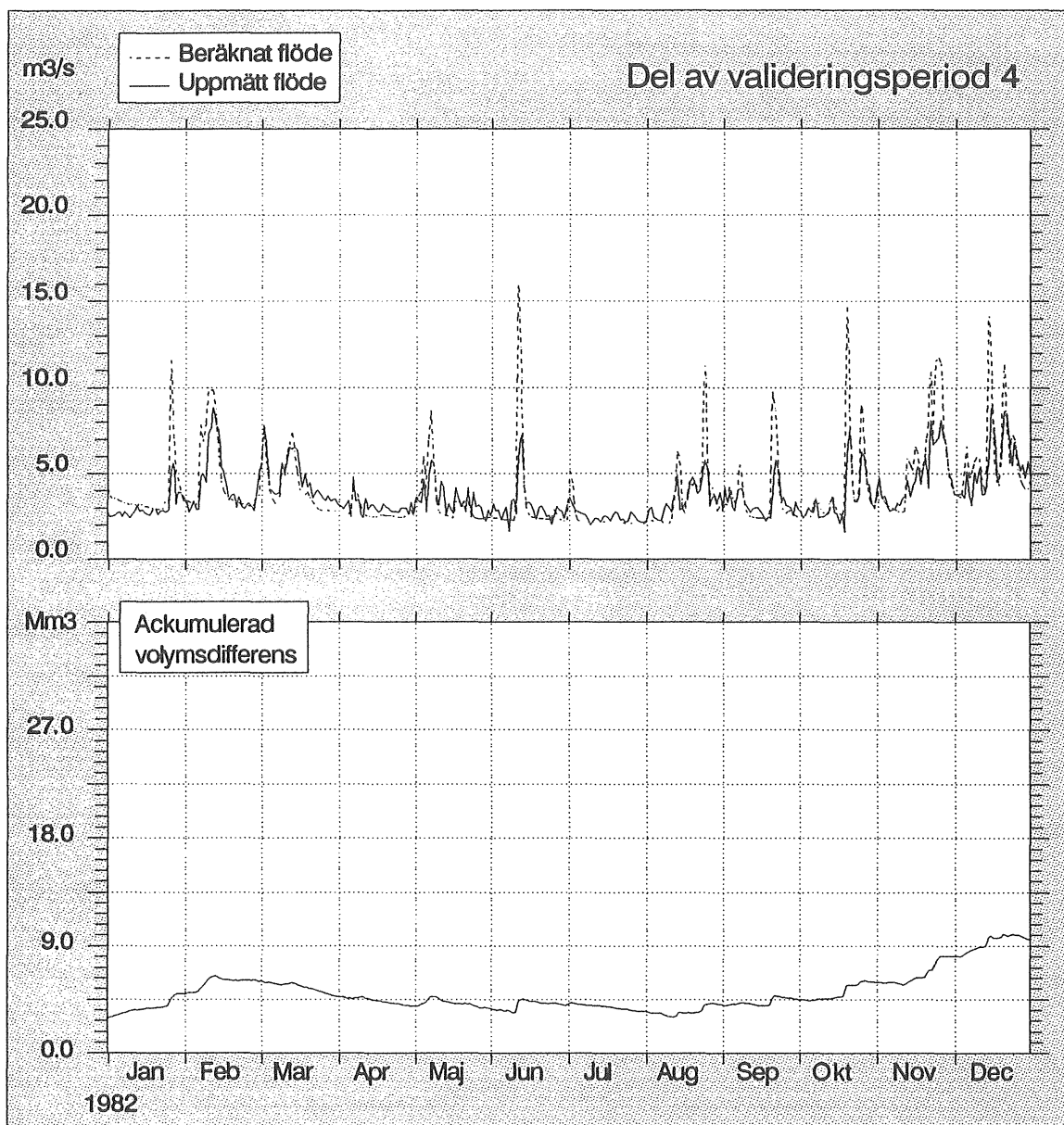


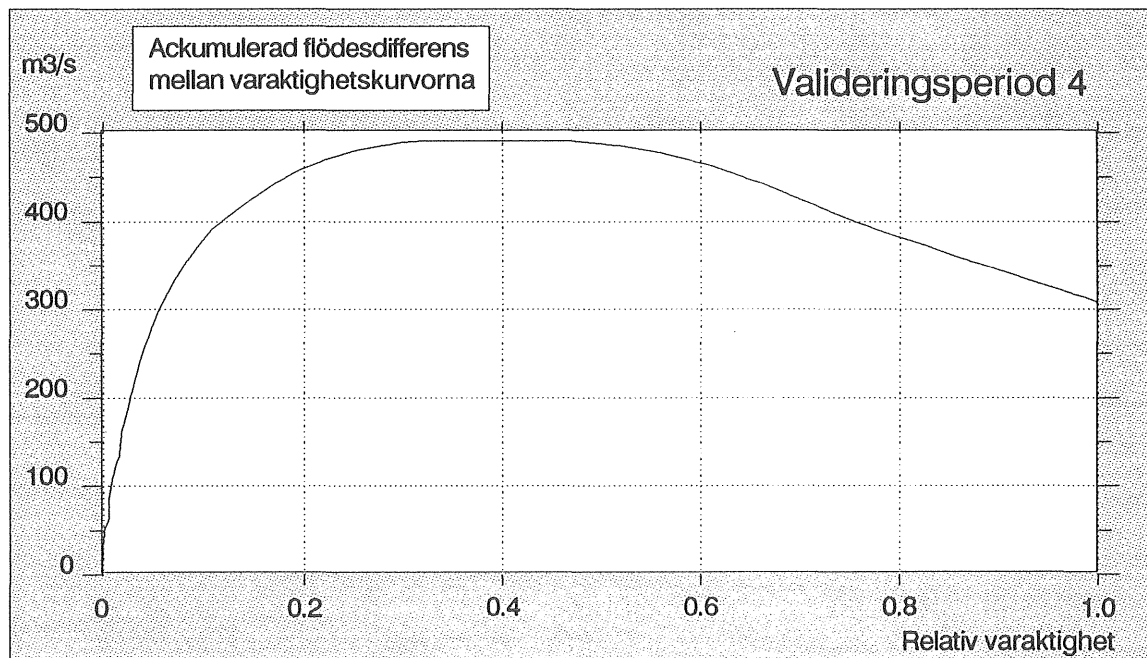
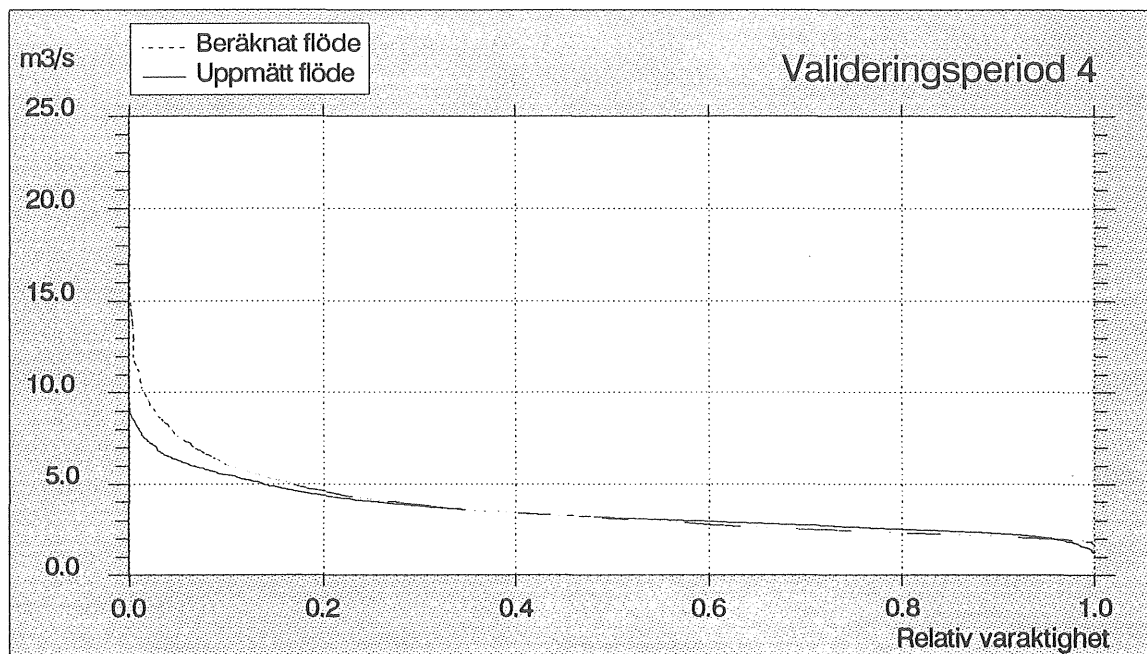


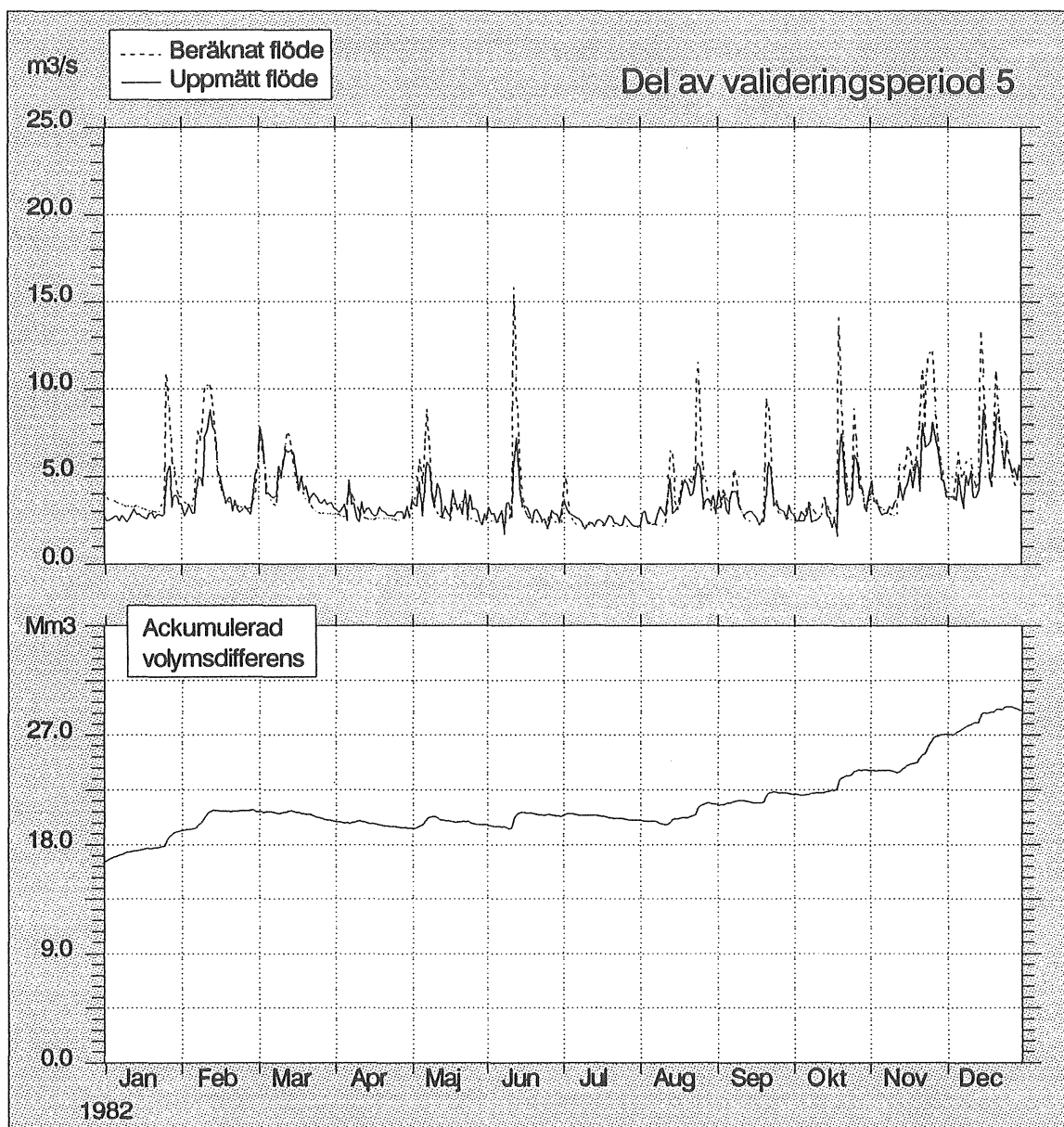


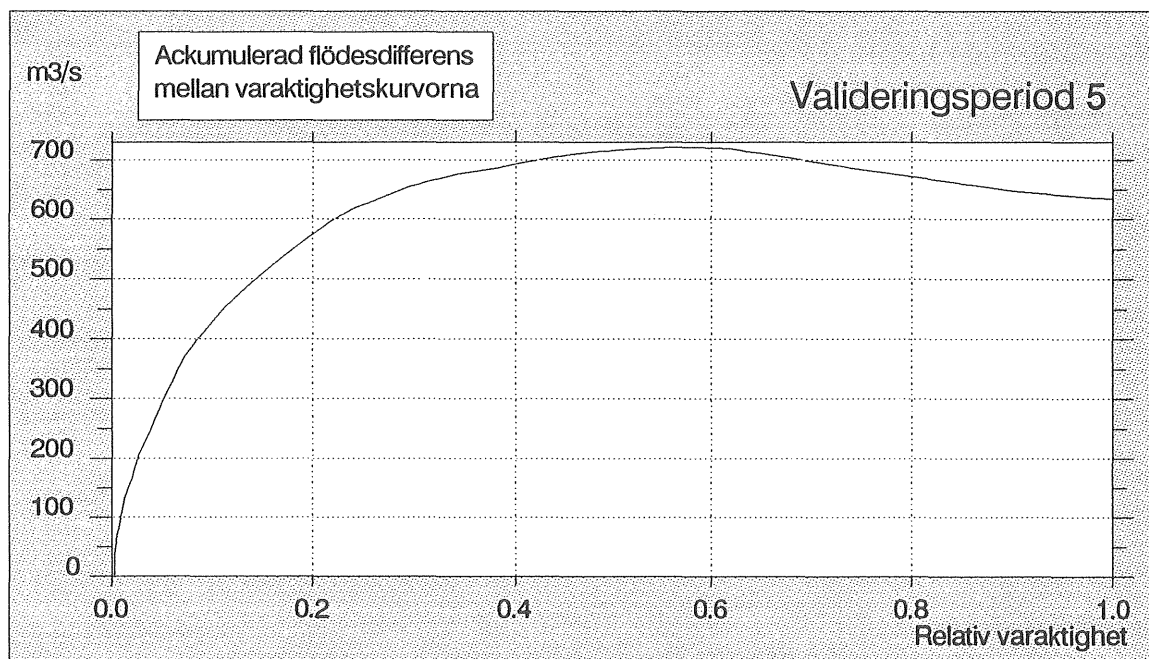
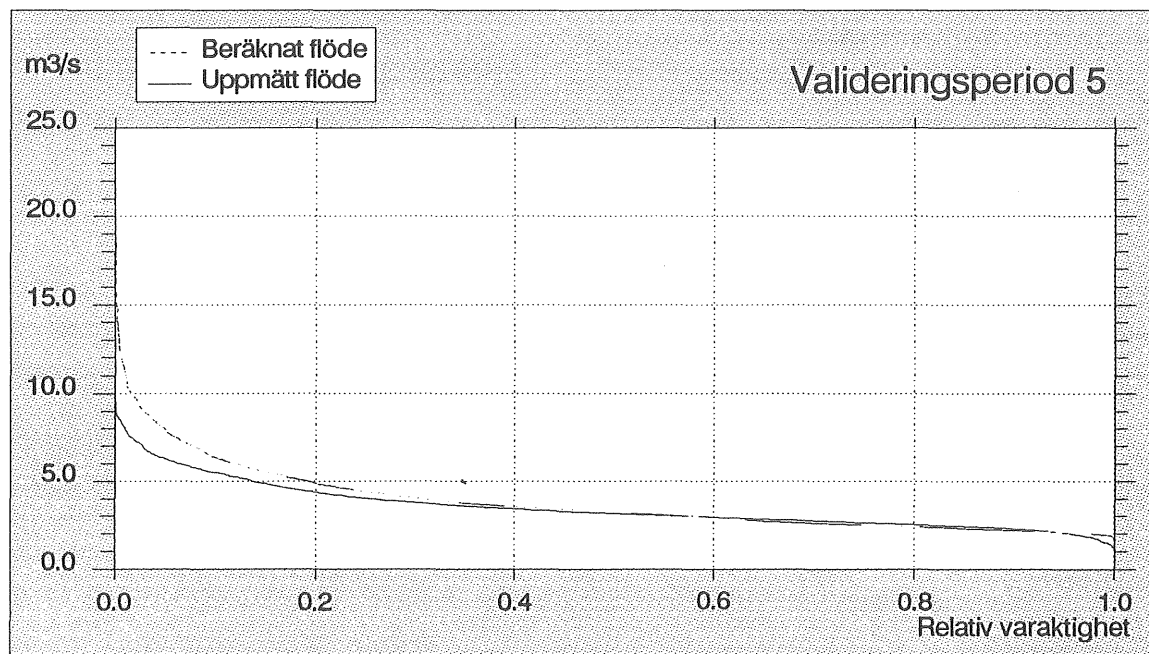


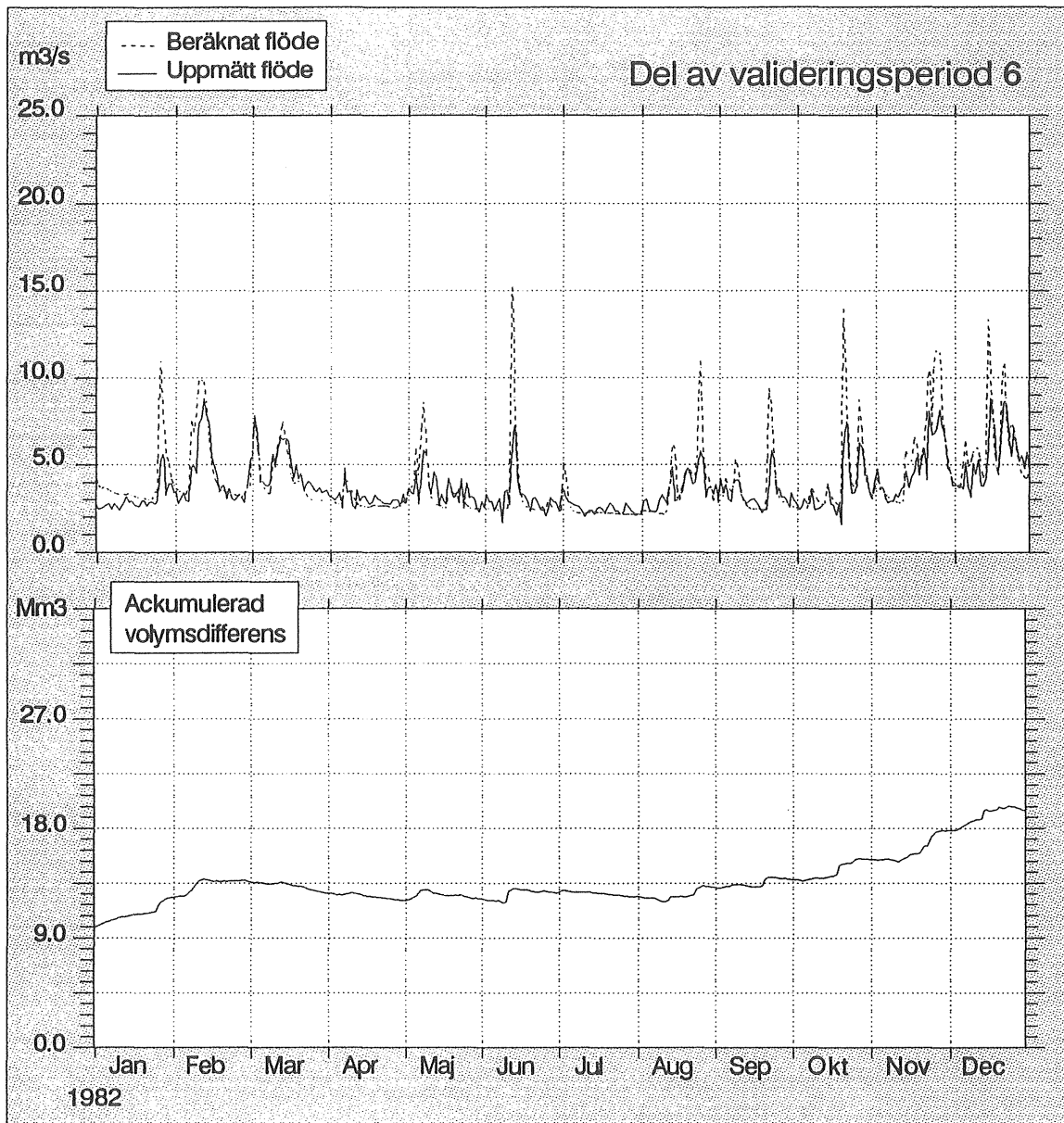


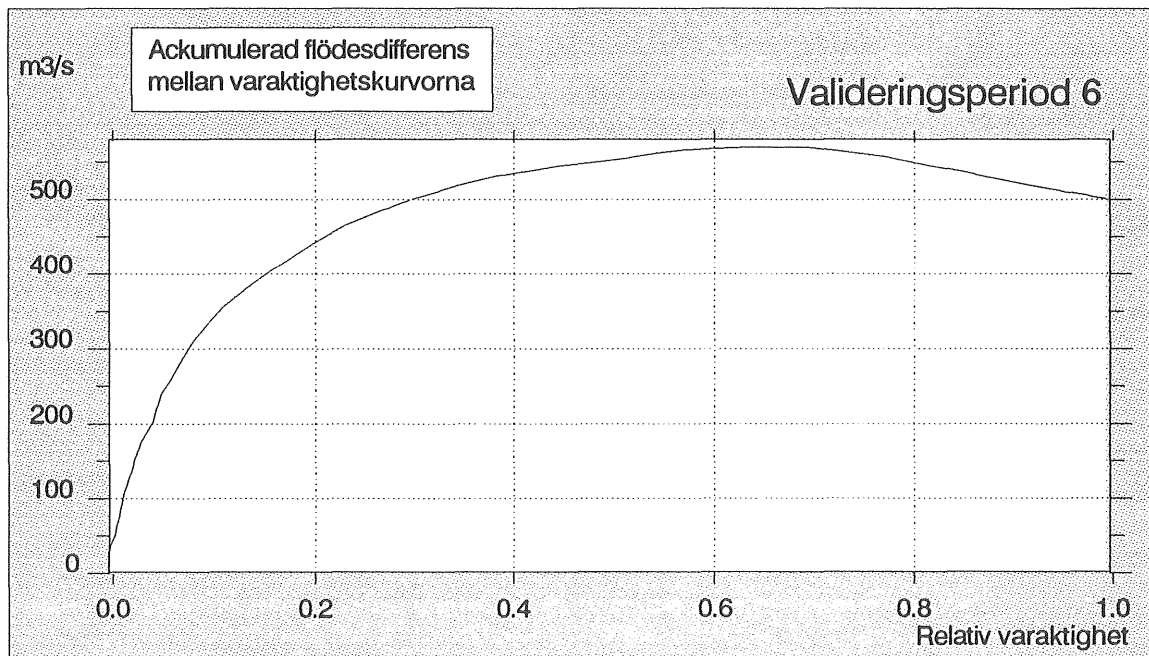
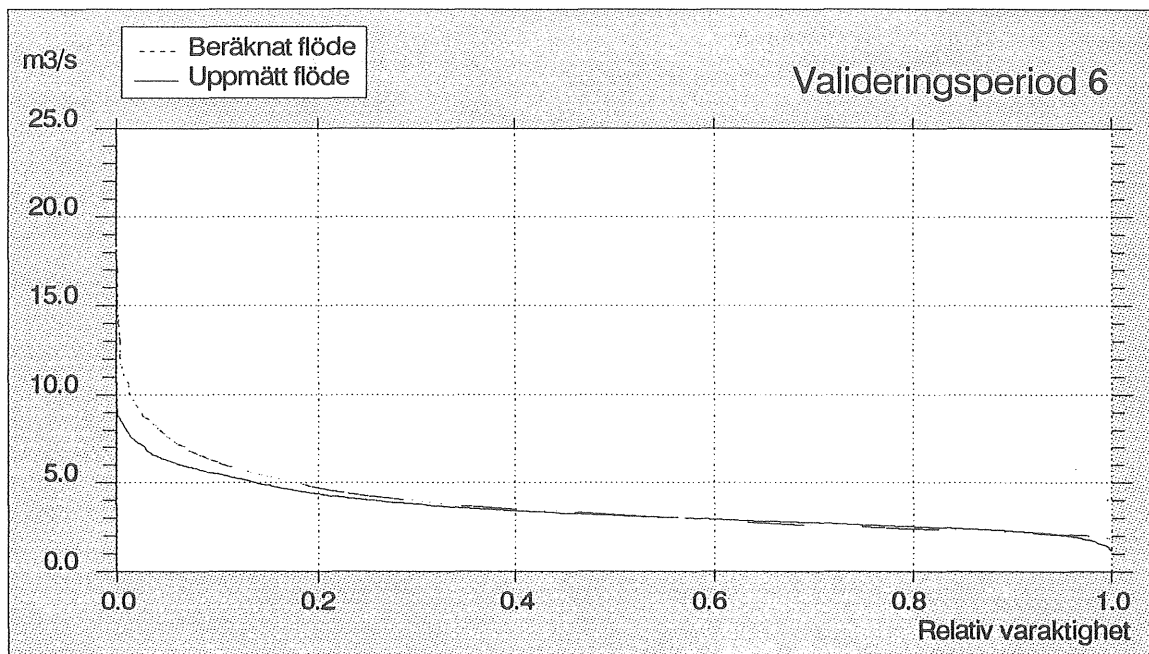


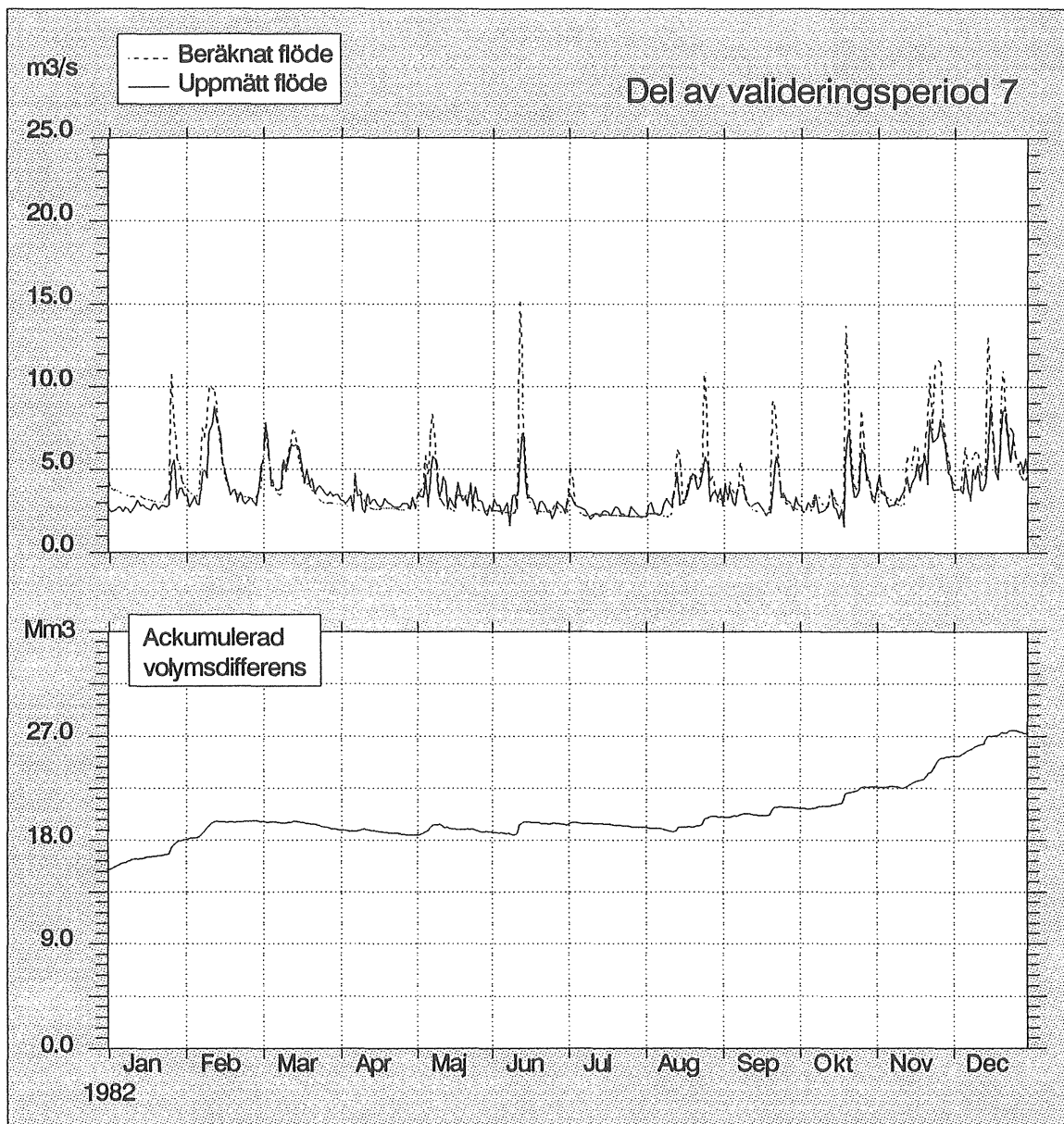


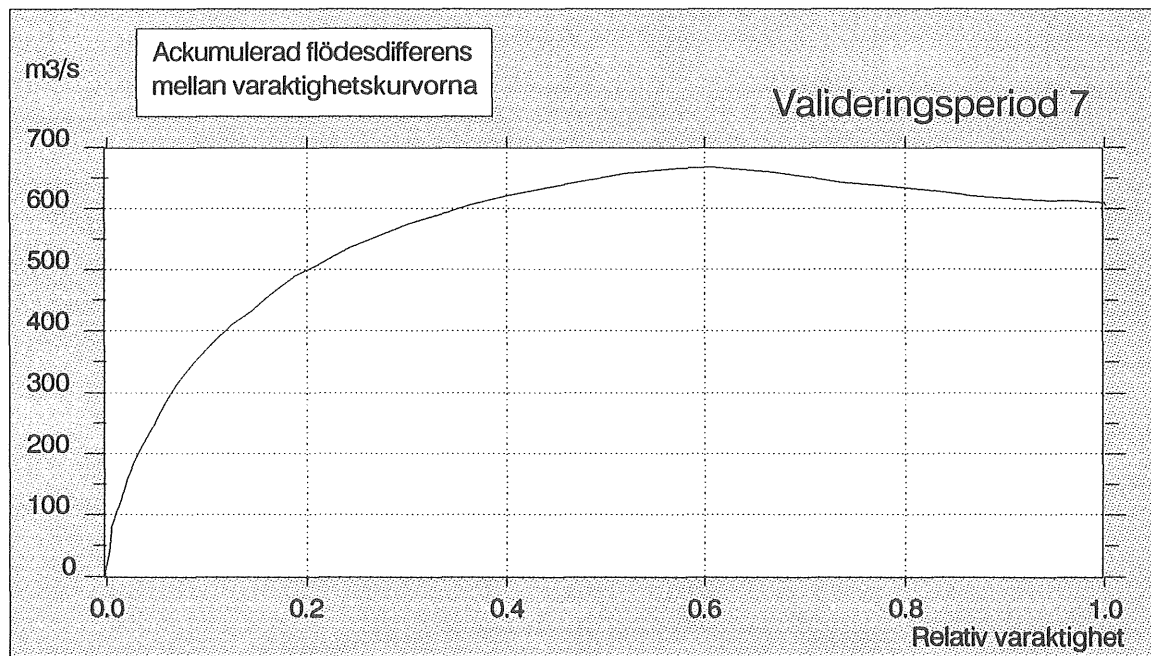
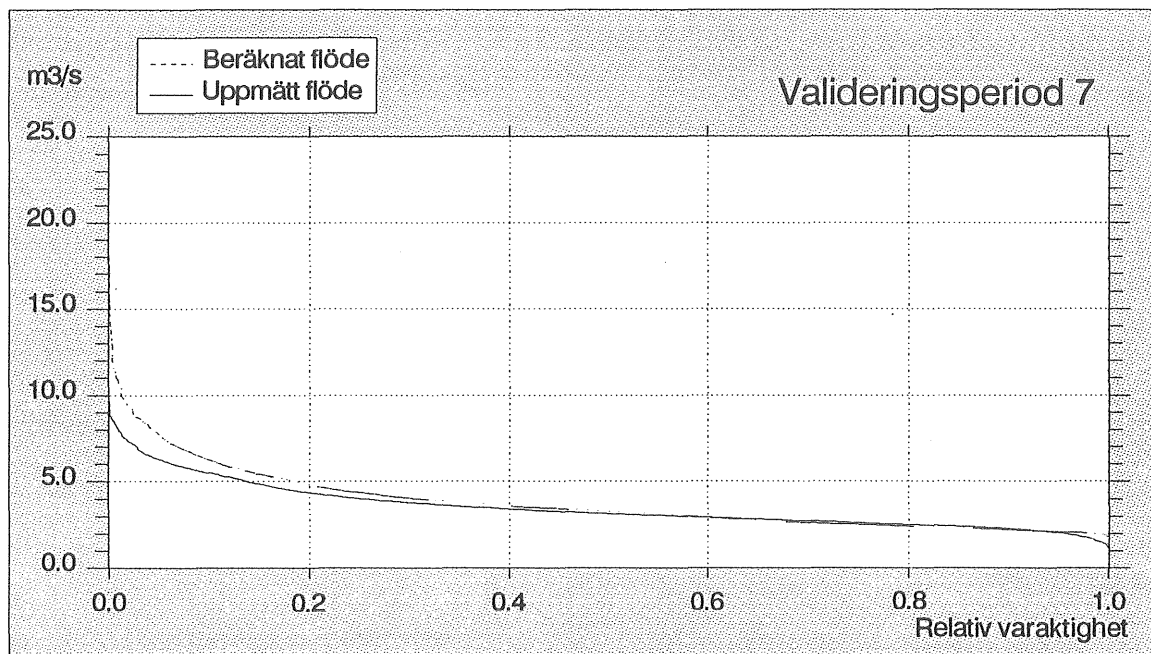












Tryckt & Bunden
Vasastadens Bokbinderi
GÖTEBORG 1992