

## **Vinteravdunstning i HBV-modellen – jämförelse med mätdata**

**Anna Eklund  
Marie Gardelin  
Anders Lindroth**

Omslagsfoto: Norrköping, februari 2000, Anna Eklund

©SMHI2000

Citera oss gärna och använd materialet, men glöm inte att ange källan.

Tryckeri: Direkt offset AB, Norrköping.

ISSN 0283-7722

## **Vinteravdunstning i HBV-modellen – jämförelse med mätdata**

**Anna Eklund, SMHI**

**Marie Gardelin, SMHI**

**Anders Lindroth, Inst. för Naturgeografi, Lunds Universitet**



## Innehållsförteckning

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Inledning                                                         | 1  |
| 2. Metoder                                                           | 3  |
| 2.1. Mätningar                                                       | 3  |
| 2.2. HBV-modellen                                                    | 3  |
| 2.2.1. Markrutinen                                                   | 3  |
| 2.2.2. Avdunstningsberäkningar med Penman och ETF                    | 4  |
| 2.2.3. Thornthwaite                                                  | 5  |
| 2.2.4. Interception                                                  | 5  |
| 2.2.5. EPF                                                           | 6  |
| 2.3. Modellsimuleringar för Norunda                                  | 6  |
| 2.4. Ångtrycks- och strålningsberäkningar                            | 7  |
| 2.5. Avdunstningsberäkningar i HIRLAM                                | 7  |
| 3. Resultat                                                          | 8  |
| 3.1. Avdunstningsmätningar                                           | 8  |
| 3.2. Samband mellan uppmätt avdunstning och meteorologiska variabler | 9  |
| 3.3. Avdunstningsberäkningar med Penman-ETF och Thornthwaite         | 12 |
| 3.4. Ytterligare avdunstningsberäkningar                             | 21 |
| 3.5. Avrinning                                                       | 24 |
| 4. Diskussion                                                        | 26 |
| 5. Slutsatser                                                        | 27 |
| 6. Slutord                                                           | 28 |
| 7. Referenser                                                        | 29 |
| Bilaga 1. Parametrar och indatastationer för HBV-simuleringarna      | 31 |

## Sammanfattning

Avdunstningen är den del i vattenbalansen som är minst känd på grund av att den är svår att mäta. Minst studerad är avdunstningen vintertid. I denna studie har avdunstningsmätningar från Norunda, norr om Uppsala, använts för de fem vintrarna 1994/1995 till 1998/1999. Mätningarna har utförts inom NOPEX-projektet (Northern Hemisphere Climate-processes Land-surface Experiment). Den beräknade avdunstningen i HBV-modellen har jämförts med dessa mätningar för att få en uppfattning om den modellberäknade avdunstningens kvalitet. För beräkning av avdunstningen i HBV-modellen används främst två olika metoder, dels avdunstning beräknad med Penmans formel, dels temperaturberoende avdunstning enligt Thornthwaites metod. En rad olika varianter av dessa båda metoder har testats i simuleringar med HBV-modellen, t.ex. avdunstningsberäkningar med och utan interceptionsmagasin.

Den uppmätta avdunstningens storlek och variation är i stort sett likartad under de olika vintrarna trots att vintrarna haft mycket olika karaktär. De fyra första vintrarna var avdunstningens dygnsmedelvärde från oktober till mars mellan 0,20 och 0,24 mm. Det sker en betydande avdunstning även vid tillfällena då marken är snötäckt, i medeltal 0,15 mm/dygn.

Tidigare har man antagit att HBV-modellen underskattar avdunstningen under vintern. Man har i modellberäkningarna tvingats att korrigera snönederbörden med en faktor ner till 0,7 för att få vattenbalansen att stämma. De jämförelser som här gjorts mellan uppmätt och beräknad avdunstning visar dock att man i de flesta fall i detta område inte gör någon underskattning av vinteravdunstningen. Av de metoder som idag används för att beräkna avdunstning ger Penman-ETF bättre resultat än Thornthwaitemetoden. Införandet av ett interceptionsmagasin till Penman-ETF-simuleringen ger en förbättring av vinteravdunstningen.

Det är svårt att göra några generella förändringar av avdunstningsberäkningarna i HBV-modellen baserat på denna studie, eftersom de slutsatser som dragits vid denna undersökning endast gäller för vinterperioden i Norunda. Nya rutiner för avdunstningsberäkningarna bör även grundas på studier av avdunstningen under övrig tid av året, det vill säga den period då avdunstningen har betydligt större inverkan på vattenbalansen. Visst samband har påvisats mellan avdunstningen vintertid och ångtrycksdeficit. Försök bör göras att inkludera denna variabel i avdunstningsberäkningarna i HBV-modellen.

## 1. Inledning

Avdunstningen är den del i vattenbalansen som är svårast att mäta och beräknas oftast som en restterm då nederbörd och avrinning är kända. För beräkning av avdunstning i HBV-modellen har länge använts beräknade långtidsmedelvärden på potentiell avdunstning för ett antal meteorologiska stationer runt om i landet (Eriksson, 1981). Avdunstningen har beräknats med Penmans formel (Penman 1948) utifrån observationsdata av temperatur, dagpunkts-temperatur, vindhastighet och molnighet. Under senare år har flera försök gjorts för att förbättra avdunstningsrutinen i HBV-modellen. Inom dessa utvecklingsprojekt är det framförallt avdunstningen under sommaren som behandlats medan avdunstningen vintertid inte har studerats närmare. Vinteravdunstningen (oktober till mars) utgör ca 10% av årsavdunstningen.

En utveckling gjordes av Penmans metod då en korrektion av avdunstningen, ETF, infördes om temperaturen avviker från långtidsmedelvärden av lufttemperaturen (Lindström och Bergström, 1992). Metoden gav bättre avrinningssimuleringar än Penmanvärden utan temperaturkorrektion. Framförallt märktes en förbättring under svala somrar. Efter tester med goda resultat infördes också en höjdberoende korrektion av avdunstningen (Evremar, 1994). Försök har även gjorts att göra dagliga beräkningar med Priestley-Taylors metod (Gardelin och Lindström, 1996). Denna metod visade sig ge lika bra värden på vattenföring som Penman med ETF-korrektion, men eftersom den är mycket mer komplicerad och kräver mer indata används den idag inte rutinmässigt i HBV-modellen. På senare år har en temperatur-indexmetod utvecklats för avdunstningsberäkningar i HBV-modellen (Lindström m.fl. 1994 och 1996). Avdunstningen varje dag beräknas då som en funktion av den aktuella lufttemperaturen. I de områden där tester har gjorts simulerar denna metod avrinningen ungefär lika bra som Penman med ETF-korrektion. Temperaturindexmetoden är den metod som idag används mest i de rutinmässiga HBV-beräkningarna på SMHI, på grund av sin enkelhet.

Eftersom man tidigare inte har kunnat validera modellberäknad avdunstning mot mätningar är avdunstningen en stor osäkerhet i HBV-modellen. Man har trott att avdunstningen vintertid underskattats i modellen, eftersom man varit tvungen att sänka snönederbörden i modellen med upp till 30% för att få vattenbalansen att stämma. Störst korrektion har behövts för skogsområden i södra Sverige. Även regnnederbörden har fått korrigeras nedåt, om än inte lika kraftigt. Eftersom indata på nederbörden till HBV-modellen inte är korrigerade för vindförluster borde uppmätt nederbörd istället vara för låg. Rimliga värden på korrektionen borde vara för regn +10% och för snö +20% (Eriksson 1983, Carlsson 1985).

Under de senaste åren har bättre mätmetoder för avdunstningsmätningar utvecklats och inom NOPEX-projektet (Northern Hemisphere Climate-processes Land-surface Experiment) (Lundin m.fl. 1999) och EUROFLUX utförts i Norunda, norr om Uppsala. HBV-modellen har satts upp för detta område för de aktuella vintrarna. Genom att jämföra modellberäknad och uppmätt avdunstning har vi kunnat få en uppfattning om hur bra avdunstningsberäkningarna i modellen är. De mätningar som använts är dagliga värden från oktober till mars under de fem vintrarna 1994/1995 till 1998/1999.

Tidigare undersökningar visar att avdunstningen direkt från ett snötäcke är liten (Lemmela och Kuusisto 1974, Bengtsson 1980, Vehviläinen 1992, Leydecker och Melack, 1999). Bengtsson (1980) uppskattade avdunstningen från ett snötäcke i ett område utanför Luleå till ca 10- 20 mm per vinter. Leydecker och Melack (1999) fann att ca 7% av snönederbörden under en vinter avdunstade i ett högt beläget område i Sierra Nevada. Flera undersökningar

visar dock att det i skog kan ske en betydande avdunstning från interceperad snö, d.v.s. snö som fastnat i träden (Calder 1985, Johnson 1990, Lundberg och Halldin 1994, Harding och Pomeroy 1996, Lundberg m. fl. 1998). Magasin med interceperad snö på upp till 22 mm har uppmätts (Johnson, 1990). Harding och Pomeroy (1996) fann att avdunstningen var låg vid tillfällena när träden var snöfria, men att upp till 4 mm på 36 timmar avdunstade vid tillfällena när det låg snö på träden. Lundberg och Halldin (1994) har undersökt ett område utanför Luleå, där de uppmätte avdunstning från interceperad snö som uppgick till som mest 0,3 mm/timme.

## 2. Metoder

### 2.1. Mätningarna

Avdunstningsstudierna bedrivs i Norunda, ett skogsområde som ligger i norra delarna av Uppland (figur 1). Skogsområdet runt mätmasten består av blandbestånd av tall och gran med en ålder av ca 50-100 år. Bestånden är som regel väl slutna med ett bladyteindex av 4-6 och en höjd av 20-25 m. Mätningarna av snödjup görs dels på en öppen plats ca 500 m från masten, dels inne i 3 olika bestånd runt masten. Snömätningarna sker kontinuerligt med hjälp av soniska höjdmätare vars signaler registreras var 10:e sekund och därefter bildas 10 minuters medelvärden som lagras. Avdunstningen uppskattas med den så kallade eddy correlation metoden vilket bygger på att man mäter den vertikala vindhastigheten samtidigt med fluktuationen av luftens fuktighet (Grelle och Lindroth 1996). Systemet har modifierats för att även klara vinterförhållanden genom att en uppvärmningsanordning monterats på den soniska anemometern. Detta innebär en avsevärd förbättring jämfört med tidigare och man kan nu i princip mäta avdunstningen kontinuerligt med en halvtimmes tidsupplösning året om.



Figur 1. Geografiskt läge för avdunstningsmätningarna.

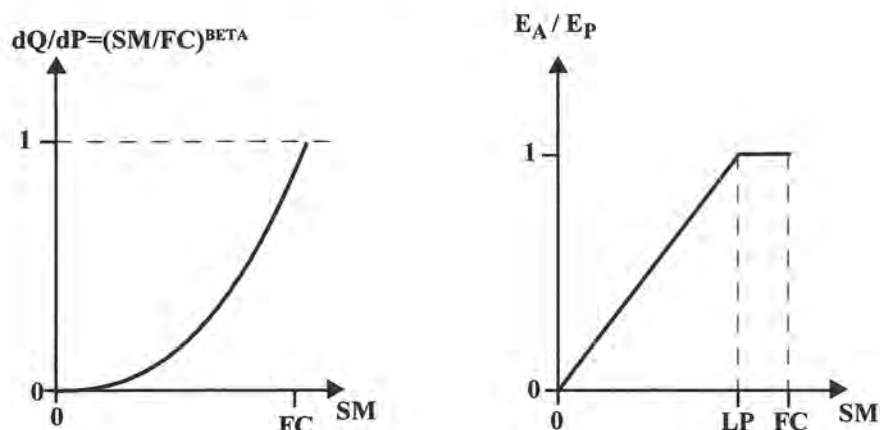
### 2.2 HBV-modellen

HBV-modellen är en hydrologisk modell som beräknar vattenflöde från ett område utifrån lufttemperatur, nederbörd samt områdets karaktäristik (Bergström 1992, Lindström m.fl. 1996 och 1997). Avdunstningsberäkningarna i HBV-modellen är kopplade till dess markrutin.

#### 2.2.1 Markrutinen

Markfuktighet och avdunstning i HBV-modellen styrs främst av två samband (figur 2). Ju högre markfuktigheten är, desto mer av regn och snösmältning går till avrinning och desto mindre stannar i marken. Detta förlopp styrs av modellparametrarna BETA och FC. I ett första steg beräknas den potentiella avdunstningen, som är den avdunstning som skulle ske om den tillgängliga vattenmängden var obegränsad. För att beräkna den verkliga avdunstningen, tas hänsyn till markvattenhalten, d.v.s. hur mycket vatten som finns tillgängligt för

avdunstning. Då markfuktigheten överskrider gränsvärdet LP är den verkliga avdunstningen lika med den potentiella.

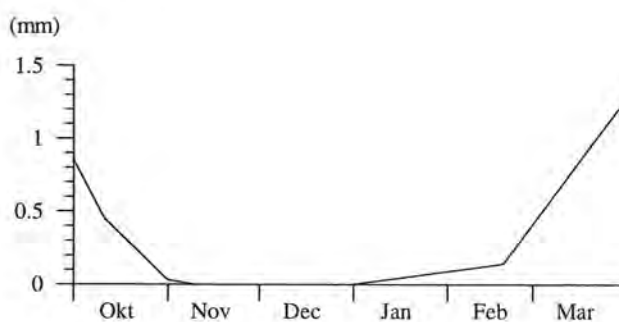


Figur 2. Vänster: Sambandet mellan den andel av regn och snösmältning som bidrar till avrinningen ( $dQ/dP$ ) och markfuktigheten ( $SM$ ). Höger: Samband mellan verklig avdunstning ( $E_A$ ) och potentiell avdunstning ( $E_P$ ).

För beräkning av den potentiella avdunstningen används i HBV-modellen främst två olika metoder, dels avdunstning beräknad med Penmans formel, dels temperaturberoende avdunstning enligt Thornthwaites metod.

### 2.2.2 Avdunstningsberäkningar med Penman och ETF

Den metod som tidigare använts mest för avdunstningsberäkningar i HBV-modellen är standardvärden (1961-1978) beräknade med Penmans formel (Penman 1948) för ett antal meteorologiska stationer runt om i landet (Eriksson 1981). Standardvärdena anges som månadsmedelvärden och i HBV-modellen görs sedan interpolation mellan dessa värden (figur 3).



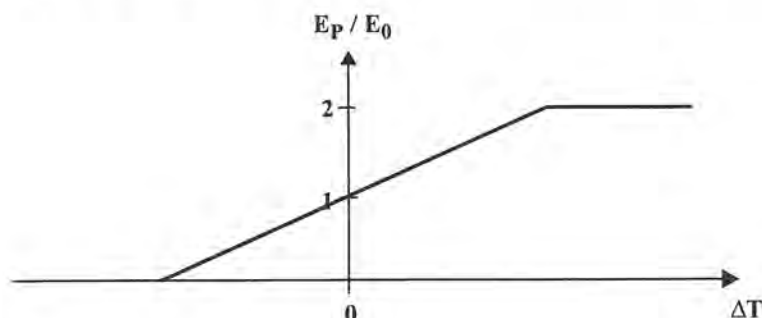
Figur 3. Långtidsmedelvärden på potentiell avdunstning vid Uppsala flygplats, som utnyttjats för simuleringar med HBV-modellen.

Till detta kan man lägga en faktor, ETF (figur 4), som justerar avdunstningen beroende på temperaturens avvikelsen från långtidsmedelvärdet enligt ekvationen

$$E_p = E_0 \cdot (1 + \text{ETF} \cdot (T - T_{\text{norm}})) \quad 0 \leq E_p \leq 2E_0 \quad (1)$$

där  $(T - T_{\text{norm}})$  är skillnaden mellan aktuell och normal temperatur för det aktuella dygnet,  $E_0$  är den potentiella avdunstningen enligt Eriksson (1981) och ETF är en parameter som kalibreras

i HBV-modellen och som i dessa beräkningar har ett värde på 0,1. Normalt sker ingen avdunstning i modellen när marken är snötäckt.



Figur 4. I ETF-metoden sker en korrektion,  $E_P/E_0$ , av avdunstningen då temperaturen avviker från lufttemperaturens långtidsmedelvärde för aktuellt dygn. Parametern ETF styr lutningen på linjen.

### 2.2.3 Thornthwaite

I HBV-modellen kan även användas en förenklad version av Thornthwaites metod (Thornthwaite 1948), där den potentiella avdunstningen beräknas utifrån lufttemperaturen och ett antal månadskoefficienter med hjälp av formeln

$$E_p = \text{ATHORN} \cdot \text{STF}(t) \cdot T \quad (2)$$

där ATHORN är en parameter som kalibreras i HBV-modellen och som i dessa beräkningar har ett värde på 0,25. STF är en månadskoefficient, som varierar under året, men har samma värde i hela Sverige. Det finns en uppsättning av månadskoefficienter som tagits fram på SMHI, som här kallas för Thornthwaite-A (tabell 1). SMHIs månadskoefficienter har beräknats så att månadsmedelvärdena för avdunstningen ska stämma överens med de beräknade månadsmedelvärden på avdunstningen enligt Eriksson (1981). I detta projekt har även en norsk uppsättning av koefficienterna använts (Thornthwaite-B). I normalfallet sker ingen avdunstning i modellen då marken är snötäckt eller då temperaturen är under 0°C.

Tabell 1. De båda uppsättningarna av månadsfaktorer, STF, i Thornthwaitemetoden.

|                | okt | nov | dec | jan | feb | mars |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Thornthwaite-A | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,6 | 1,9 | 2,4  |
| Thornthwaite-B | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8  |

### 2.2.4 Interception

Interception är den del av nederbörden som inte når marken utan fastnar i vegetationen. Ett interceptionsmagasin i HBV-modellen gör det möjligt att ta hänsyn till att mycket av den nederbörd som faller över skog fastnar i träden (intercepterar). Normalt används inte interception i HBV-modellen, men möjligheten finns att utnyttja ett interceptionsmagasin, där regn och snö samlas och från vilket direkt avdunstning sker. Denna typ av avdunstning kan i modellen ske även om det finns snö på marken. Den mängd nederbörd som kan samlas i interceptionsmagasinet är i dessa beräkningar 2 mm för skogsområden, medan den har försumrats för öppen mark. Avdunstningen från interceptionsmagasinet är i HBV-modellen alltid potentiell. Eftersom den potentiella avdunstningen ofta ansetts som en övre gräns för avdunstningen kan en reduktion, ERED, av avdunstningen från marken användas vid beräkningar med interception.

### 2.2.5 EPF

Man kan i HBV-modellen lägga in en reduktion av avdunstningen under de dygn då det faller nederbörd. Denna typ av korrektion har tidigare använts vid HBV-tillämpningar i Finland.

Den potentiella avdunstningen reduceras med faktorn  $e^{-(EPF) \cdot P}$  där P är nederbörden och EPF är en modellparameter som oftast sätts till 0,1. När EPF används införs även en generell ökning av avdunstningen. Metoden innebär en omfördelning av avdunstningen från dagar med nederbörd till nederbördsfria dagar, men medför ingen genomsnittlig förändring av den totala avdunstningen storlek. Normalt används inte EPF i modellen, eftersom tidigare tester inte gav någon förbättring av beräknad vattenföring.

### 2.3. Modellsimuleringar för Norunda

För att beräkna avdunstningen har HBV-modellen använts i ett område med en radie på 1 km runt mätmasten i Norunda. De beräknade avdunstningsvärdena har sedan jämförts med de uppmätta. Som indata till modellen har använts temperatur- och nederbördsvärden från 6 av SMHIs mätstationer, vilka ligger inom 25 km från mätmasten (bilaga 1). Värden på beräknad potentiell avdunstning är hämtade från Uppsala flygplats (figur 3). HBV-modellens parametervärden har hämtats från ett närliggande område, Vattholma. I detta område har modellen tidigare kalibrerats mot uppmätt vattenföring. Då användes enbart Penman-ETF-metoden för avdunstningsberäkningen. I de här redovisade simuleringarna har HBV-modellen inte kalibrerats för Thornthwaitemetoden, utan standardvärdet 0,25 har använts för parametern ATHORN.

Beräkningar av avdunstning med HBV-modellen gjordes i ett första steg på 12 olika sätt (M1-M12, tabell 2). Dels har beräkningar gjorts med Penman med ETF, dels med Thornthwaite-metoden med de båda uppsättningarna av månadsfaktorer (A och B). För alla dessa har beräkningarna gjorts med och utan interceptionsmagasin samt med och utan begränsningen att ingen avdunstning sker då marken är snötäckt. I simuleringarna utan interceptionsmagasin har de nederbördskorrektioner använts som erhållits vid tidigare kalibrering av modellen mot vattenföringsdata. När interceptionsavdunstningen beräknats separat har allmänna korrektioner för mätförluster tillämpats (regn +10%, snö +20%).

Tabell 2. HBV-beräkningar har gjorts för Norundaområdet med dessa olika varianter på avdunstningsberäkningen.

| Modell-simulering | Metod                                                              |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------|
| M1                | Penman-ETF                                                         |
| M2                | Penman-ETF med avd även om det finns snötäcke                      |
| M3                | Penman-ETF med interception                                        |
| M4                | Penman-ETF med interception och avd även om det finns snötäcke     |
| M5                | Thornthwaite-A                                                     |
| M6                | Thornthwaite-A med avd även om det finns snötäcke                  |
| M7                | Thornthwaite-A med interception                                    |
| M8                | Thornthwaite-A med interception och avd även om det finns snötäcke |
| M9                | Thornthwaite-B                                                     |
| M10               | Thornthwaite-B med avd även om det finns snötäcke                  |
| M11               | Thornthwaite-B med interception                                    |
| M12               | Thornthwaite-B med interception och avd även om det finns snötäcke |
| M13               | Penman-ETF med interception och EPF                                |
| M14               | Penman-ETF med interception och ERED=0                             |
| M15               | Penman utan ETF med interception                                   |
| M16               | Penman utan ETF med interception och EPF                           |

I nästa steg har några andra möjligheter testats (M13-M16, tabell 2). EPF innebär en minskning av avdunstningen under de dygn det faller nederbörd. Att sätta parametern ERED till 0 innebär att man låter det avdunsta obegränsat från marken även om det avdunstar från interceptionsmagasinet. En test har också gjorts att ta bort temperaturkorrektionen, ETF. För beskrivning av använda modellparametrar se bilaga 1.

## 2.4. Ångtrycks- och strålningsberäkningar

Samband har sökts mellan avdunstningen i Norunda och en mängd meteorologiska variabler. Ångtryck och strålning mäts inte direkt utan har beräknats.

Ångtrycksdeficit (Pa), som är skillnaden mellan ångtrycket,  $e_a$ , och mättnadsångtrycket,  $e_s$ , har beräknats enligt följande:

$$e_a - e_s = 610,78 \cdot e^{17,269 \cdot \frac{T-273,15}{T-35,86}} - 610,78 \cdot e^{17,269 \cdot \frac{T_D-273,15}{T_D-35,86}} \quad (3)$$

där T är lufttemperatur och  $T_D$  är daggpunktstemperatur (K).

Globalstrålningen har beräknats enligt Eriksson (1981), som:

$$R = Q_a \cdot \left( 0,15 + 0,62 \cdot \frac{8-m}{8} \right) \quad (4)$$

där m är molnigheten (0 till 8, 0=helt klart, 8=helt mulet) och  $Q_a$  är genomsnittlig daglig instrålning utanför atmosfären (tabell 3).

Tabell 3. Genomsnittlig daglig instrålning utanför atmosfären på breddgraden 60°N, månadsmedelvärden.

|                              | okt | nov | dec | jan | feb 28 dagar | feb 29 dagar | mars |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|--------------|--------------|------|
| $Q_a$ (cal/cm <sup>2</sup> ) | 279 | 118 | 55  | 84  | 205          | 208          | 411  |

Nettostrålningen beräknades enligt Eriksson (1981) som:

$$R_N = R \cdot (1-r) - \sigma \cdot T^4 \cdot (0,56 - 0,080 \cdot \sqrt{e_a}) \cdot \left( 1 - 0,9 \cdot \frac{m}{8} \right) \quad (5)$$

där R är globalstrålningen (ekv. 4), r är ytans albedo,  $\sigma$  är Stefan-Boltzmanns konstant ( $4,92 \cdot 10^{-3}$  Ws/(m<sup>2</sup> · grad · dygn)), T är lufttemperaturen,  $e_a$  ångtrycket (ekv. 3) och m molnigheten (0 till 8). Markens värmelagring försummas i dessa beräkningar. Enligt Eriksson (1981) antas albedo för skog vara 0,12 och för snö 0,5.

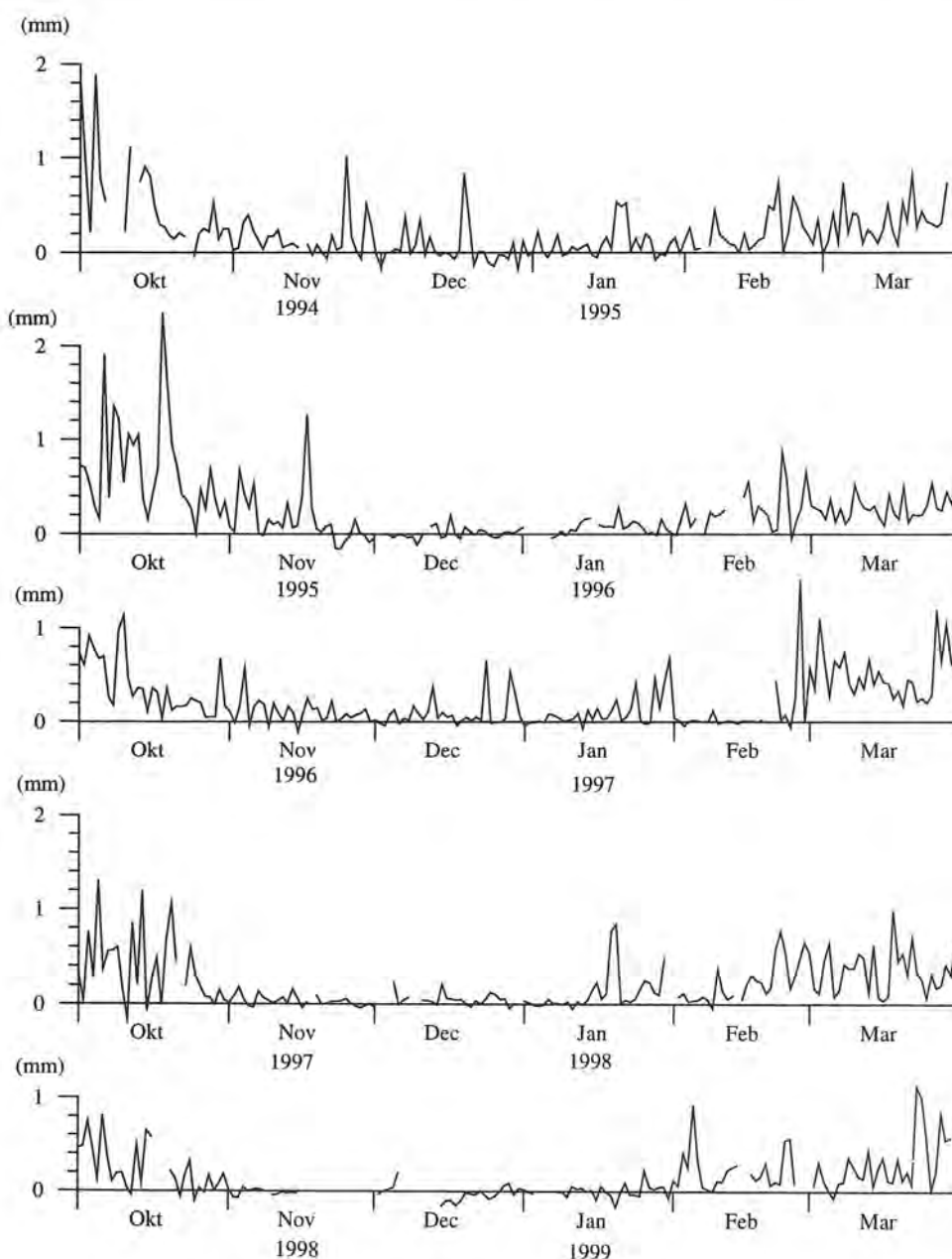
## 2.5. Avdunstningsberäkningar i HIRLAM

HIRLAM är den meteorologiska modell som används för rutinmässig prognosproduktion på SMHI. Ett antal variabler, däribland avdunstning, beräknas i gridpunkter med vanligtvis 44 km upplösning. Avdunstningen beräknas med energibalans (Bringfelt 1996).

### 3. Resultat

#### 3.1. Avdunstningsmätningar

Resultat från mätningarna under de fem vintrarna visas i figur 5 och tabell 4. Avdunstningens storlek och variation är i stort sett likartad under de olika vintrarna trots att vintrarna haft mycket olika karaktär. De fyra första vintrarna var avdunstningens dygnsmedelvärde från oktober till mars mellan 0,20 och 0,24 mm. Den sista vintern var dygnsmedelvärdet ungefär hälften så stort. Totalt under oktober till mars sker i medeltal en avdunstning på ca 35 mm. Den uppmätta kondensationen är i medeltal 1 mm under perioden oktober till mars.



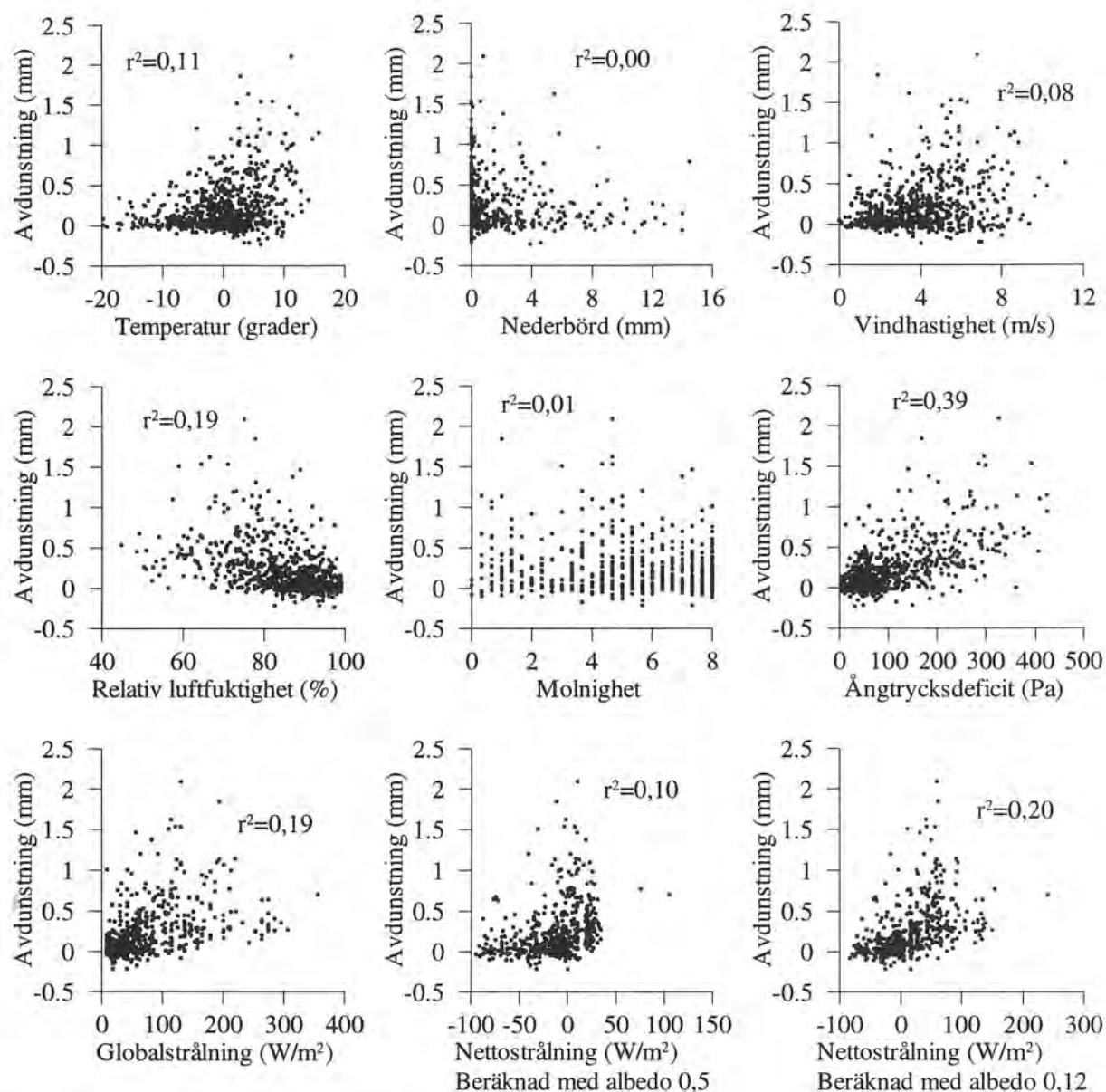
Figur 5. Uppmätt avdunstning i Norunda under fem vintrar.

Tabell 4. Månadsmedelvärde för den uppmätta avdunstningen i Norunda under fem olika vintrar.

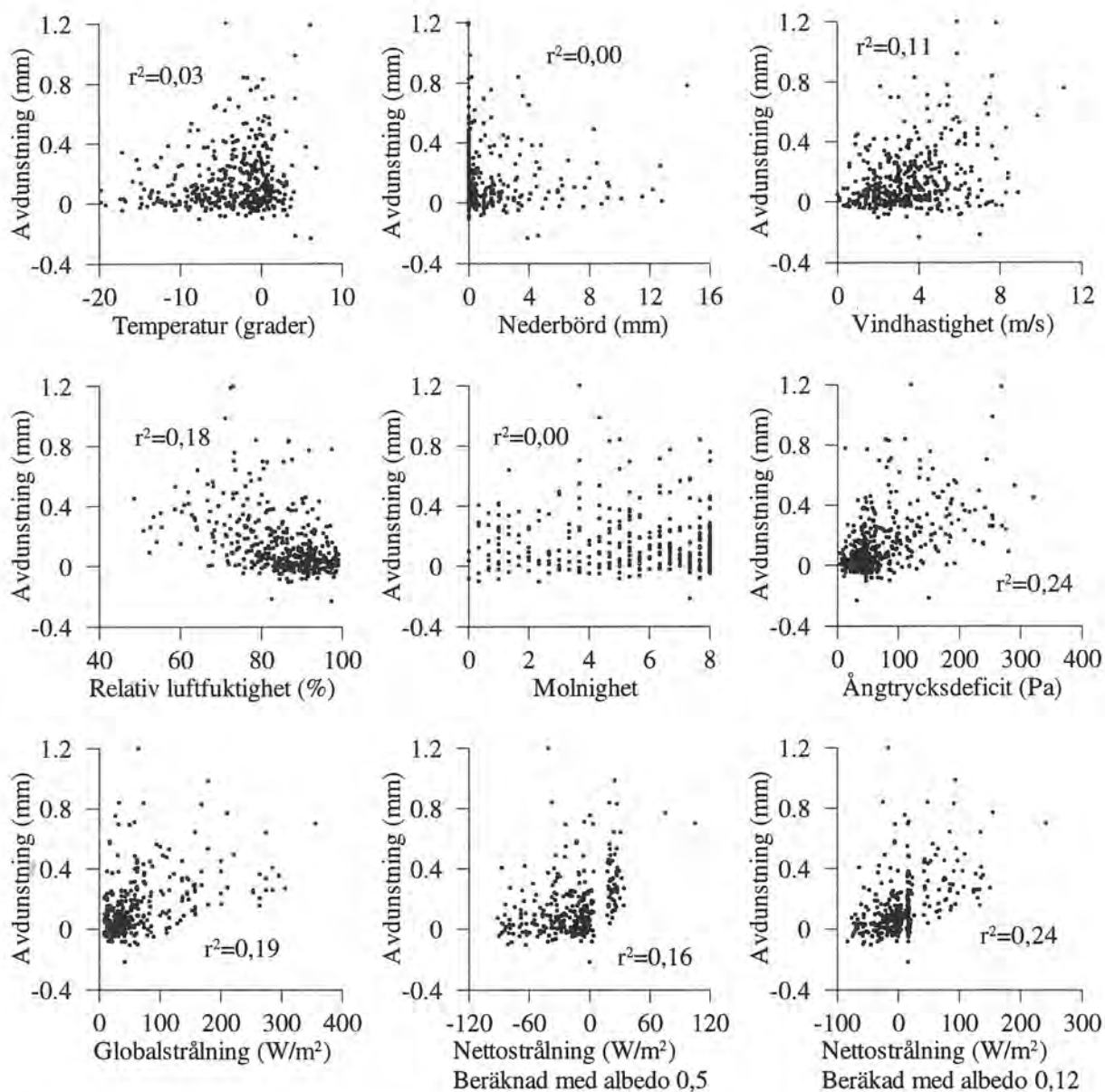
| År        | Uppmätt avdunstning medelvärde (mm/dygn) |       |       |      |      |      |        |
|-----------|------------------------------------------|-------|-------|------|------|------|--------|
|           | okt                                      | nov   | dec   | jan  | feb  | mars | totalt |
| 1994/1995 | 0,56                                     | 0,15  | 0,05  | 0,10 | 0,20 | 0,34 | 0,23   |
| 1995/1996 | 0,70                                     | 0,17  | 0,00  | 0,08 | 0,21 | 0,28 | 0,24   |
| 1996/1997 | 0,38                                     | 0,10  | 0,09  | 0,10 | 0,09 | 0,50 | 0,21   |
| 1997/1998 | 0,38                                     | 0,04  | 0,05  | 0,13 | 0,22 | 0,36 | 0,20   |
| 1998/1999 | 0,25                                     | -0,01 | -0,02 | 0,00 | 0,22 | 0,29 | 0,12   |

### 3.2. Samband mellan uppmätt avdunstning och meteorologiska variabler

För att få en bild av vilka väderförhållanden som råder när det sker avdunstning under vintern undersöktes samband mellan den uppmätta avdunstningen och meteorologiska variabler. Här har undersökts de variabler som mäts vid SMHI:s station vid Uppsala flygplats samt luftfuktighet, ångtrycksdeficit och strålning som beräknats utifrån dessa mätningar (figur 6 och 7). Det samband som är starkast är det mellan avdunstningen och ångtrycksdeficit ( $r^2=0,39$ ). Om man bara tittar på de dagar då det finns ett snötäcke (HBV-beräknat) (figur 7) finns de starkaste sambanden mellan avdunstning och ångtrycksdeficit ( $r^2=0,24$ ) samt mellan avdunstning och nettostrålning beräknat med albedo 0,12 ( $r^2=0,24$ ).

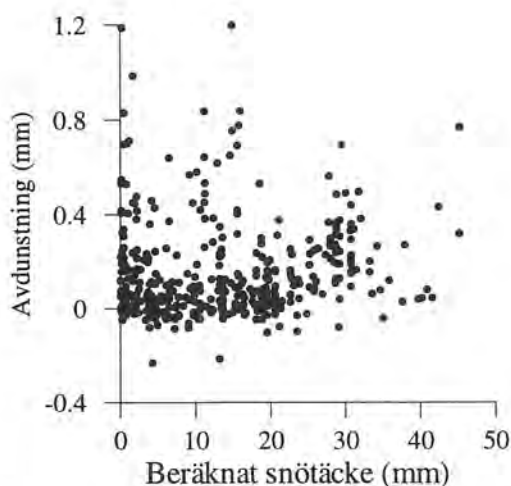


Figur 6. Samband mellan uppmätt avdunstning i Norunda och en rad meteorologiska variabler för Uppsala flygplats. Ångtryck, strålning och relativ luftfuktighet är beräknade och övriga uppmätta. I figuren visas dygnsmedel från oktober till mars under de fem vintrarna 1994/1995 till 1998/1999.



Figur 7. Samband mellan uppmätt avdunstning Norunda och en rad meteorologiska variabler för SMHI:s station vid Uppsala flygplats. I figurerna visas dygnsmedelvärdet för de dagar då det enligt HBV-beräkningarna finns ett snötäcke. Värdena avser perioden oktober till mars under de fem vintrarna 1994/1995 till 1998/1999.

Vidare har undersökts om det sker någon avdunstning under perioder när det ligger snö på marken. HBV-beräknat snötäcke har jämförts med uppmätt avdunstning i Norunda (figur 8). Man kan konstatera att det sker en betydande avdunstning, upp till 1 mm per dygn, även under de dagar då det funnits ett snötäcke. Dygnsmedelvärdet för avdunstningen under dagar med snötäcke är 0,15 mm. Totalt sker en avdunstning på ca 15 mm per vinter under tillfällena då det finns ett snötäcke.



Figur 8. Sambandet mellan uppmätt avdunstning och beräknat snötäcke, Norunda. Oktober till mars 1994/1995 till 1998/1999.

### 3.3. Avdunstningsberäkningar med Penman-ETF och Thornthwaite

Som ett första steg har 12 olika beräkningar av avdunstning i HBV-modellen gjorts (M1-M12). Dessa sammanfattas i tabell 5 och figur 9 och resultaten från beräkningarna finns noggrannare beskrivna i figurerna 10 till 15. Den förklarade variansen,  $R^2$  (tabell 5), beräknades enligt Nash och Sutcliffe (1970). Ju närmare +1  $R^2$ -värdet är, desto bättre överensstämmer beräkningarna med mätningarna.

Penman-ETF-metoden överensstämmer generellt tämligen väl med de uppmätta månadsmedelvärdena (figur 9), medan dygnsvariationerna inte fångas av modellen. Metoden ger för låga avdunstningsvärden i november och december, vilket beror på att den beräknade potentiella avdunstningen vid Uppsala flygplats (Eriksson 1981) är noll under dessa månader. Av tabell 5 framgår att grundmodellen (utan snöavdunstning och interception) av Penman-ETF (M1) underskattar avdunstningen i HBV-modellen med ca 50%. Thornthwaite-A ger för höga värden under februari och mars, på grund av höga månadsfaktorer, medan Thornthwaite-B istället har höga månadsfaktorer i oktober och november och därför ger för hög avdunstning under dessa månader. Sammantaget över vintern ger de båda varianterna av Thornthwaite-metoden för hög avdunstning. Överskattningen är ca 20-30 % för grundmodellerna av Thornthwaite-A (M5) och Thornthwaite-B (M9). Man kan i figurerna (10 till 15) se att det i grundmodellerna (M1, M5, M9) inte sker någon avdunstning under perioder med snötäcke. I Thornthwaitemetoden sker heller ingen avdunstning om temperaturen är under 0°C.

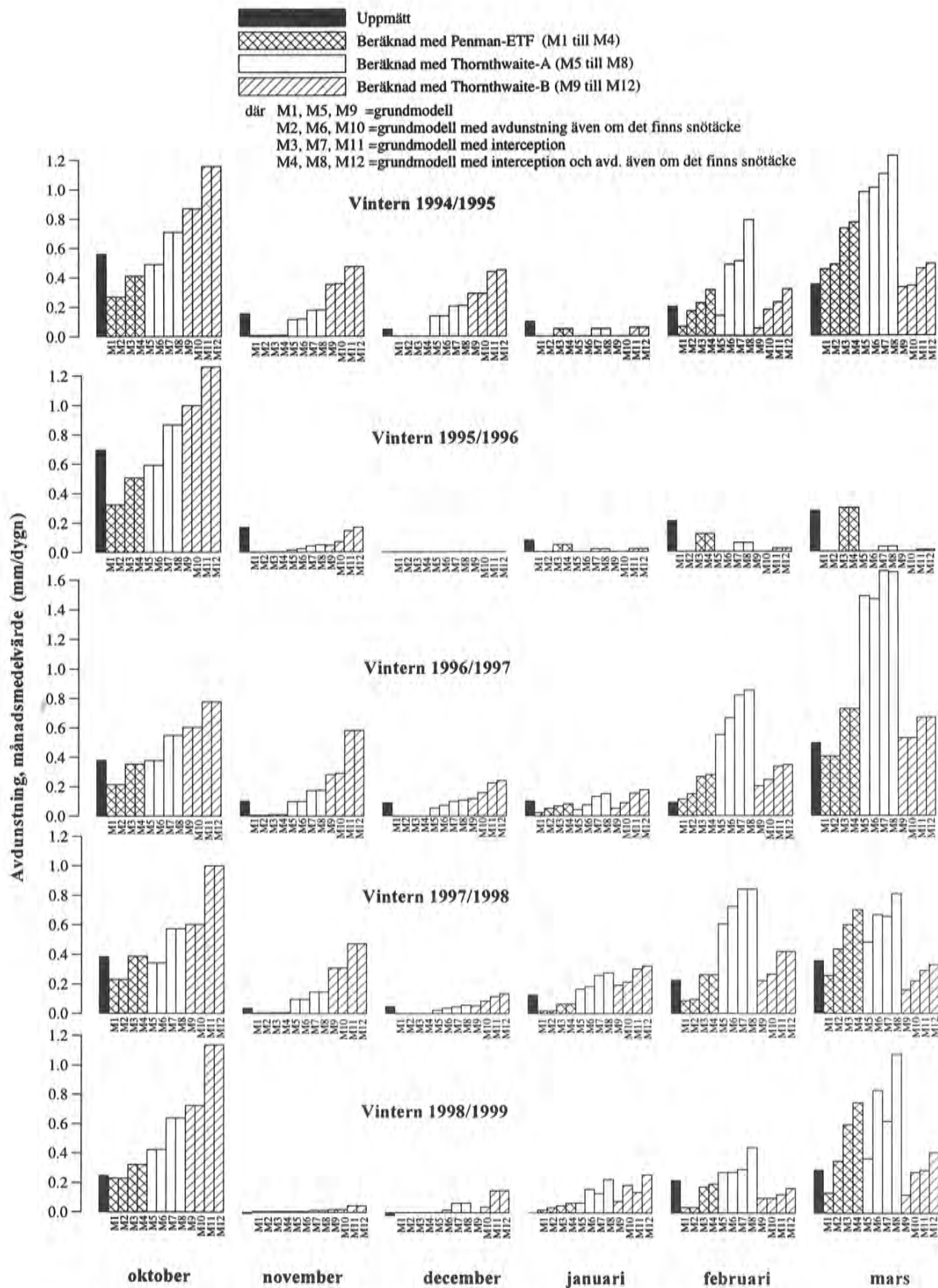
Vi har tidigare sett att det i verkligheten sker avdunstning trots att det finns ett snötäcke på marken, medan avdunstning i HBV-modellen normalt inte sker vid sådana tillfällen. Två olika tester har gjorts för att försöka inkludera detta i beräkningarna. Dels lades ett interceptionsmagasin in, dels tilläts avdunstning sker även då marken var snötäckt. Införandet av ett interceptionsmagasin ökar avdunstningen och Penman-ETF (M3) får avdunstningsvärden som mer överensstämmer med de uppmätta. Det sker dock fortfarande ingen avdunstning i november och december, eftersom även interceptionsavdunstningen bygger på månadsmedelvärden som är nära noll dessa månader. Försöket att tillåta avdunstning även då marken är snötäckt ger även det en ökning av avdunstningen. När denna möjlighet infördes tillsammans

med interception till Penman-ETF (M4) erhöjls dock ingen ytterligare förbättring. Thornthwaiteberäkningarna överskattar avdunstningen i de ursprungliga modellsimuleringarna (M5 och M9) och införandet av interceptionsmagasin och avdunstning även från snötäckt mark gav sämre överensstämmelse med mätdata (M6-M8, M10-M12). Då ett interceptionsmagasin infördes överskattades avdunstningen med ca 90%. Om avdunstningen tilläts ske från snötäckt mark var överskattningen 100-110%.

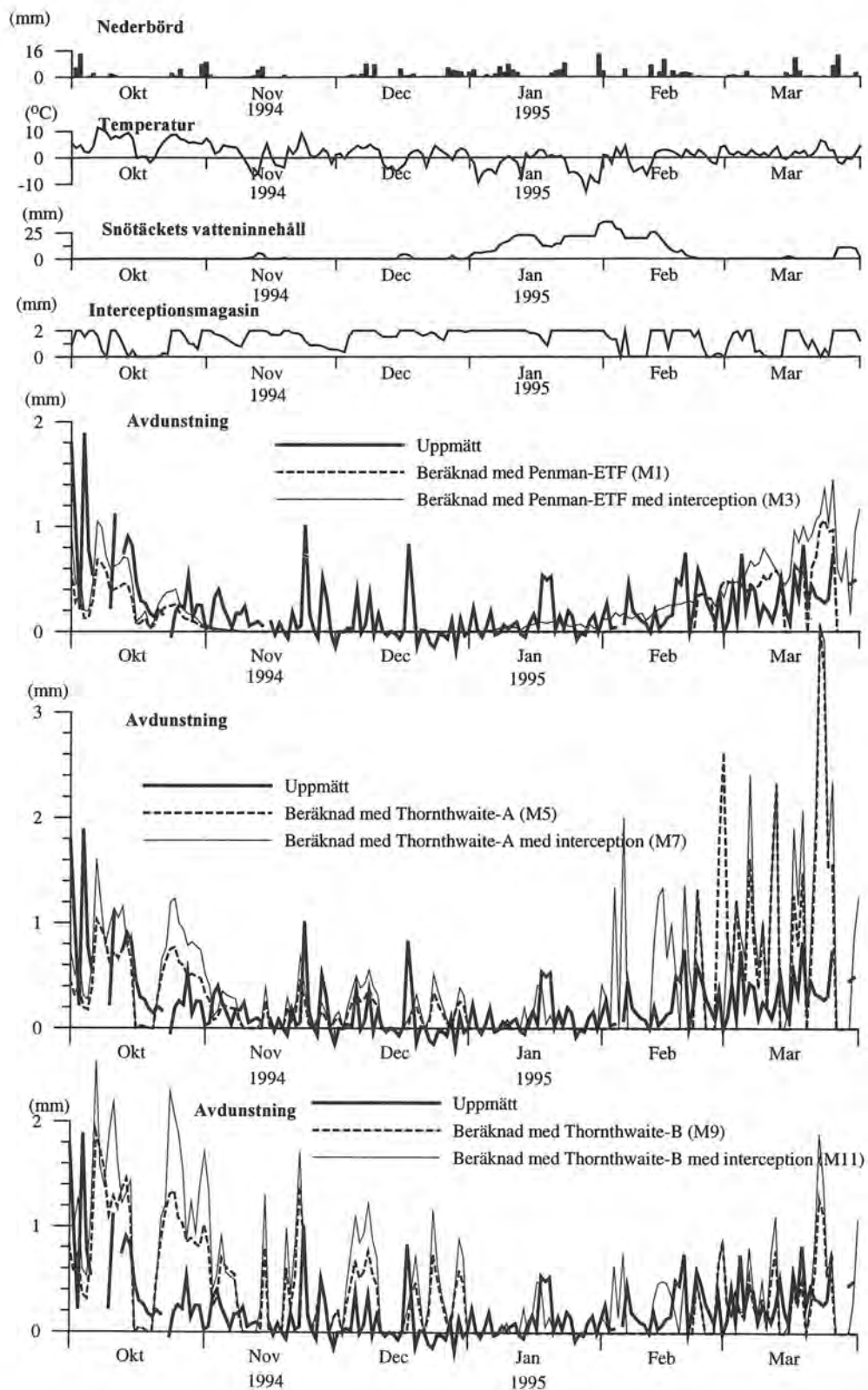
Vintern 1995/1996 underskattades avdunstningen i nästan alla beräkningarna. Detta beror på att temperaturen låg under noll grader större delen av vintern och då sker i Thornthwaiteberäkningarna ingen avdunstning och i Penman-ETF endast en mycket liten avdunstning.

*Tabell 5. Procentuellt fel i avdunstningsberäkningarna för Norunda i HBV-modellen jämfört med mätningarna. Tabellen anger dels det totala felet, dels medelfelet under de fem olika vintrarna, dels medelfelet för varje vintermånad. I sista kolumnen anges den förklarade variansen,  $R^2$ . För närmare beskrivning av de olika metoderna, se tabell 2.*

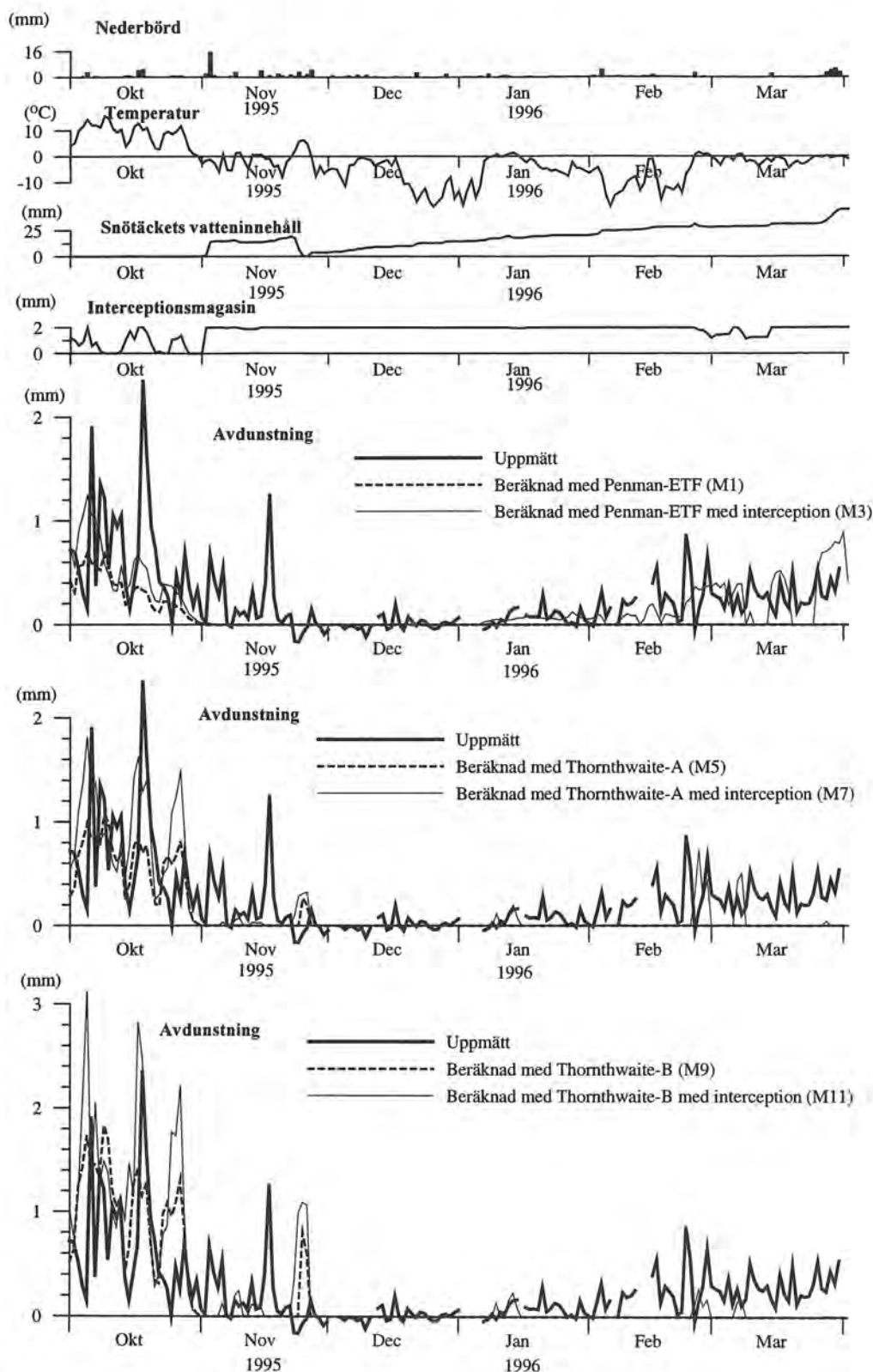
| Metod |                              | Avvikelse (i %) mellan beräknad och uppmätt avdunstning |               |               |               |               |               |     |     |      |     |     |     | $R^2$ -värde |
|-------|------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|--------------|
|       |                              | totalt                                                  | 1994/<br>1995 | 1995/<br>1996 | 1996/<br>1997 | 1997/<br>1998 | 1998/<br>1999 | okt | nov | dec  | jan | feb | mar |              |
| M1    | Penman-ETF                   | -52                                                     | -44           | -77           | -40           | -49           | -40           | -44 | -96 | -100 | -86 | -68 | -30 | -0,1         |
| M2    | Penman-ETF, snöavd           | -41                                                     | -35           | -77           | -35           | -33           | -8            | -44 | -96 | -100 | -74 | -52 | -6  | -0,07        |
| M3    | Penman-ETF, intercep         | 5                                                       | 1             | -31           | 11            | 12            | 60            | -13 | -93 | -100 | -32 | 11  | 66  | -0,04        |
| M4    | Penman-ETF, snöavd, intercep | 12                                                      | 10            | -31           | 13            | 21            | 86            | -13 | -93 | -100 | -24 | 24  | 83  | -0,1         |
| M5    | Thorn-A                      | 31                                                      | 33            | -57           | 104           | 43            | 56            | -2  | -27 | 28   | -33 | 66  | 87  | -3,6         |
| M6    | Thorn-A, snöavd              | 55                                                      | 57            | -56           | 114           | 71            | 137           | -2  | -24 | 59   | 3   | 126 | 124 | -3,92        |
| M7    | Thorn-A, intercep            | 90                                                      | 94            | -28           | 167           | 111           | 144           | 47  | 23  | 148  | 44  | 166 | 129 | -5,27        |
| M8    | Thorn-A, snöavd, intercep    | 112                                                     | 122           | -28           | 171           | 127           | 241           | 47  | 25  | 164  | 76  | 215 | 171 | -5,9         |
| M9    | Thorn-B                      | 22                                                      | 35            | -26           | 40            | 31            | 46            | 67  | 123 | 178  | -21 | -39 | -36 | -0,92        |
| M10   | Thorn-B, snöavd              | 34                                                      | 44            | -24           | 50            | 44            | 88            | 67  | 132 | 246  | 20  | -17 | -23 | -0,95        |
| M11   | Thorn-B, intercep            | 91                                                      | 100           | 3             | 114           | 120           | 163           | 134 | 281 | 459  | 64  | 19  | -3  | -3,08        |
| M12   | Thorn-B, snöavd, intercep    | 101                                                     | 109           | 4             | 118           | 127           | 202           | 134 | 287 | 488  | 104 | 34  | 7   | -3,21        |



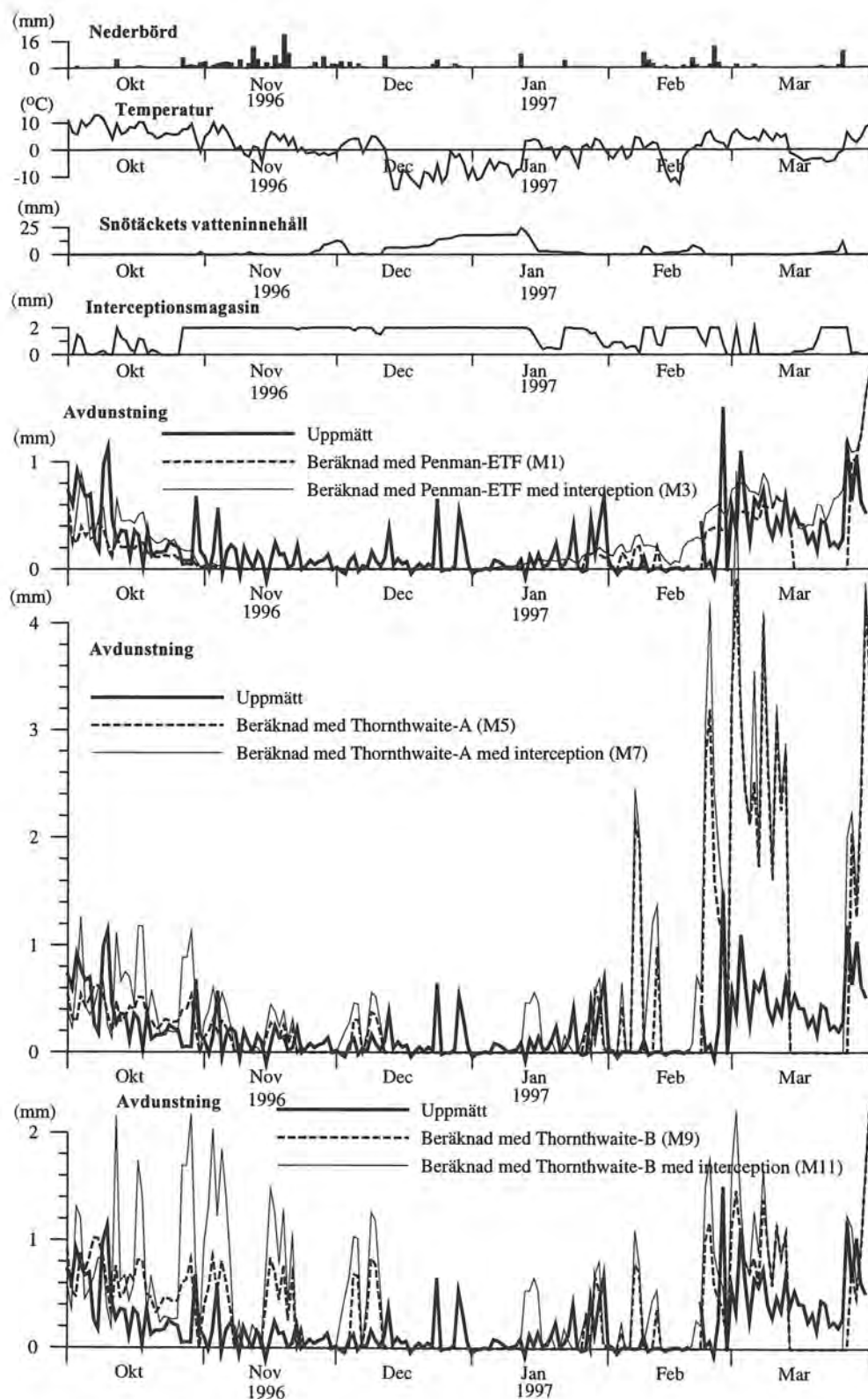
Figur 9. Månadsmedelvärden för uppmätt och beräknad avdunstning.



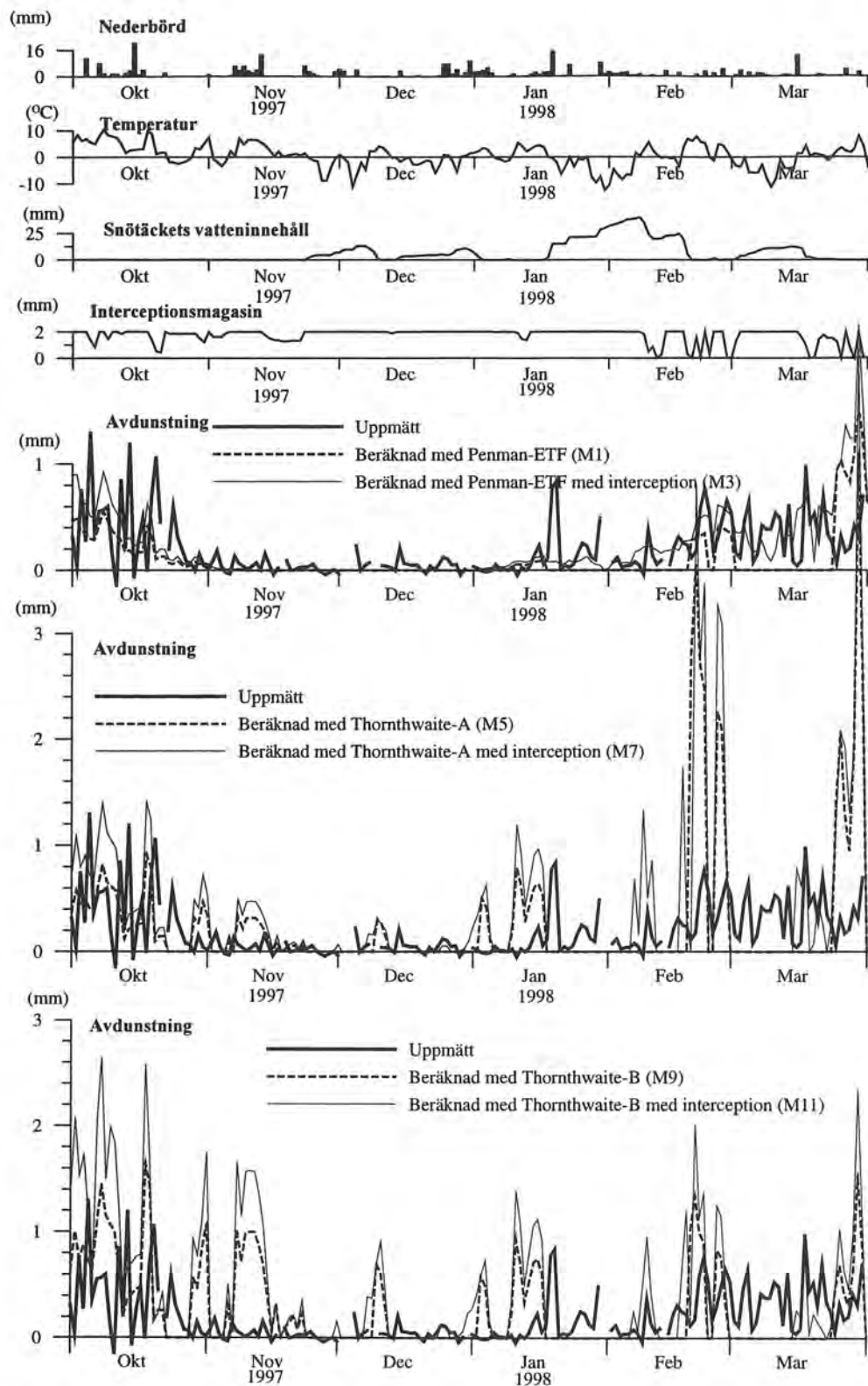
Figur 10. Resultat från HBV-beräkningarna vintern 1994/1995. Figuren visar avdunstning beräknad på sex olika vis, dels med Penmanvärden med temperaturkorrektion, dels med Thornthwaitemetoden med två olika uppsättningar månadsfaktorer. Beräkningarna har gjorts både med och utan interception. Snötäckets vatteninnehåll och interceptionsmagasinet storlek skiljer sig mellan de olika metoderna och de som redovisas här är från Penman-ETF med interception.



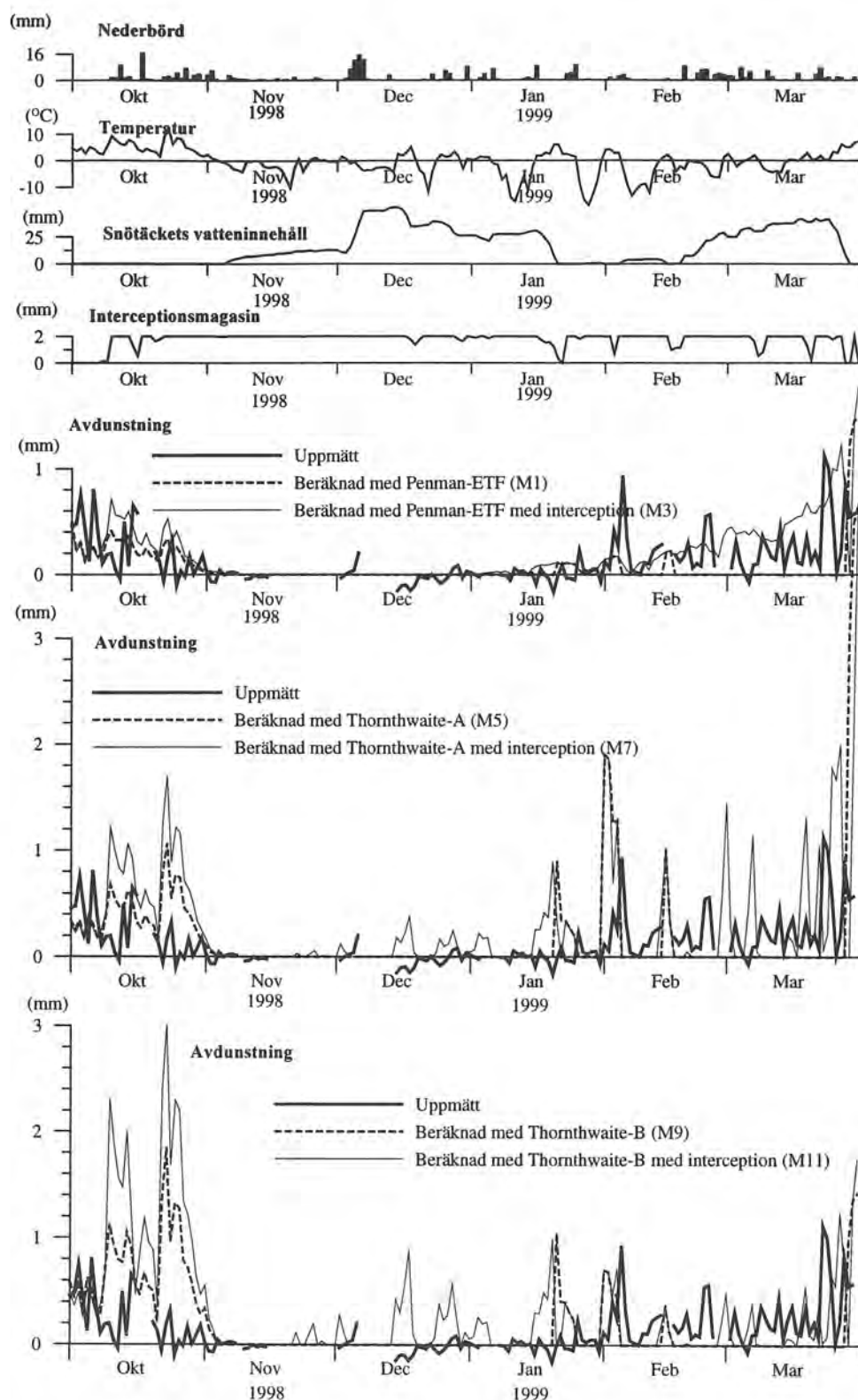
Figur 11. Resultat från HBV-beräkningarna vintern 1995/1996. Figuren visar avdunstning beräknad på sex olika vis, dels med Penmanvärden med temperaturkorrektion, dels med Thornthwaitemetoden med två olika uppsättningar månadsfaktorer. Beräkningarna har gjorts både med och utan interception. Snötäckets vatteninnehåll och interceptionsmagasinets storlek skiljer sig mellan de olika metoderna och de som redovisas här är från Penman-ETF med interception.



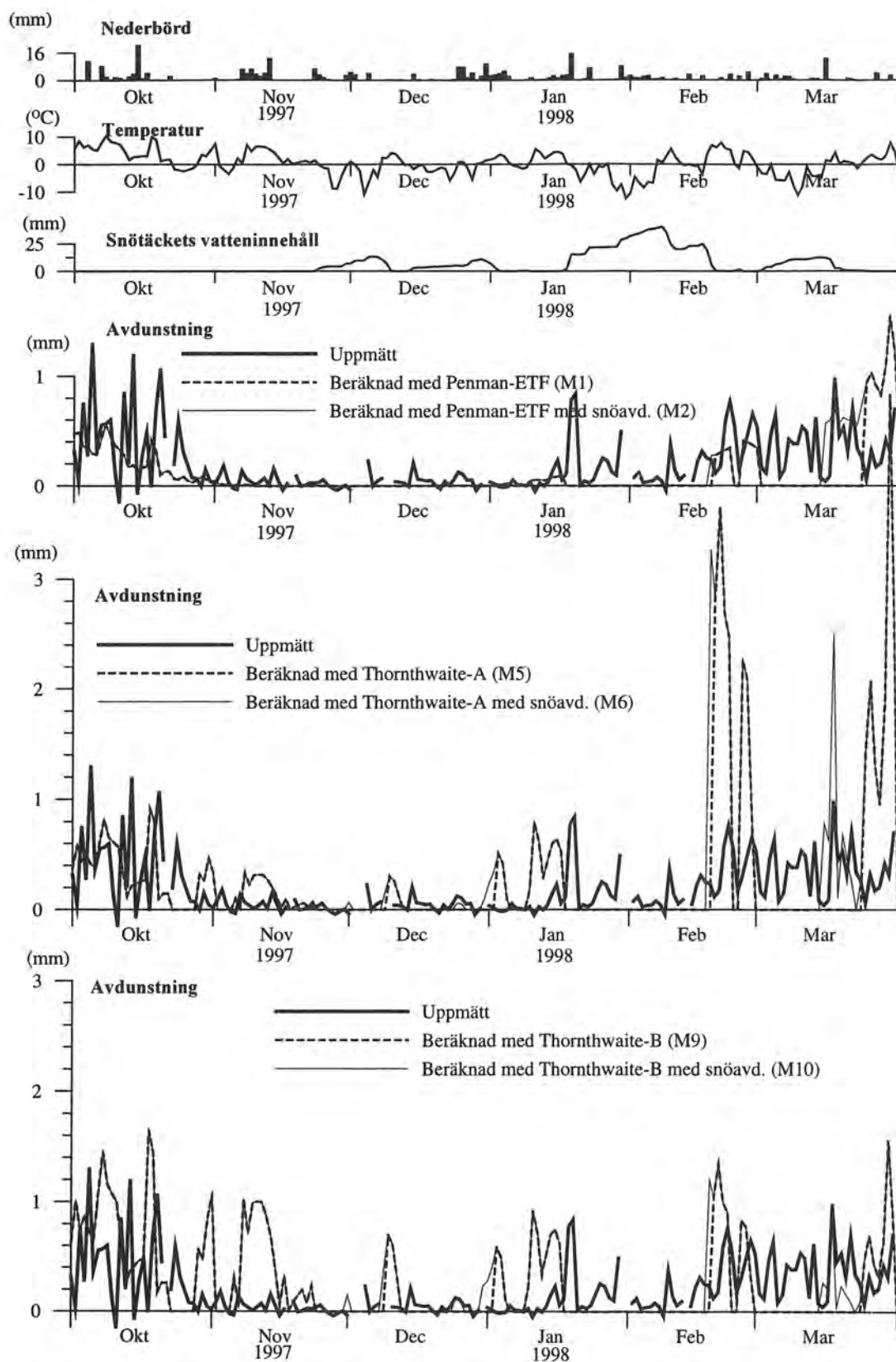
Figur 12. Resultat från HBV-beräkningarna vintern 1996/1997. Figuren visar avdunstning beräknad på sex olika vis, dels med Penmanvärden med temperaturkorrektion, dels med Thornthwaitemetoden med två olika uppsättningar månadsfaktorer. Beräkningarna har gjorts både med och utan interception. Snötäckets vatteninnehåll och interceptionsmagasinets storlek skiljer sig mellan de olika metoderna och de som redovisas här är från Penman-ETF med interception.



Figur 13. Resultat från HBV-beräkningarna vintern 1997/1998. Figuren visar avdunstning beräknad på sex olika vis, dels med Penmanvärden med temperaturkorrektion, dels med Thornthwaitemetoden med två olika uppsättningar månadsfaktorer. Beräkningarna har gjorts både med och utan interception. Snötäckets vatteninnehåll och interceptionsmagasinets storlek skiljer sig mellan de olika metoderna och de som redovisas här är från Penman-ETF med interception.



Figur 14. Resultat från HBV-beräkningarna vintern 1998/1999. Figuren visar avdunstning beräknad på sex olika vis, dels med Penmanvärden med temperaturkorrektur, dels med Thornthwaitemetoden med två olika uppsättningar månadsfaktorer. Beräkningarna har gjorts både med och utan interception. Snötäckets vatteninnehåll och interceptionsmagasinets storlek skiljer sig mellan de olika metoderna och de som redovisas här är från Penman-ETF med interception.



Figur 15. Figuren visar beräknad avdunstning vintern 1997/1998 både med och utan avdunstning när det finns ett snötäcke i HBV-modellen. Snötäckets vatteninnehåll skiljer sig mellan de olika metoderna och de som är uppritade i figuren är från Penman-ETF.

Utifrån de uppmätta månadsmedelvärdena på avdunstningen beräknades nya månadsfaktorer i Thornthwaitemetoden (tabell 7) enligt följande:

$$\text{Ny STF-faktor} = \text{Gammal STF-faktor} \cdot (\text{Månadsmedel uppmätt avd}) / (\text{Månadsmedel beräknad avd})$$

De nya faktorerna är högre under november till januari och lägre under februari och mars jämfört med månadsfaktorerna i Thornthwaite-A, medan de är lägre i början av vintern och högre i slutet av vintern jämfört med Thornthwaite-B (tabell 7).

Tabell 7. Den nya uppsättningen av månadsfaktorer, STF, i Thornthwaitemetoden beräknade utifrån den uppmätta avdunstningen i Norunda, samt de gamla faktorerna som jämförelse.

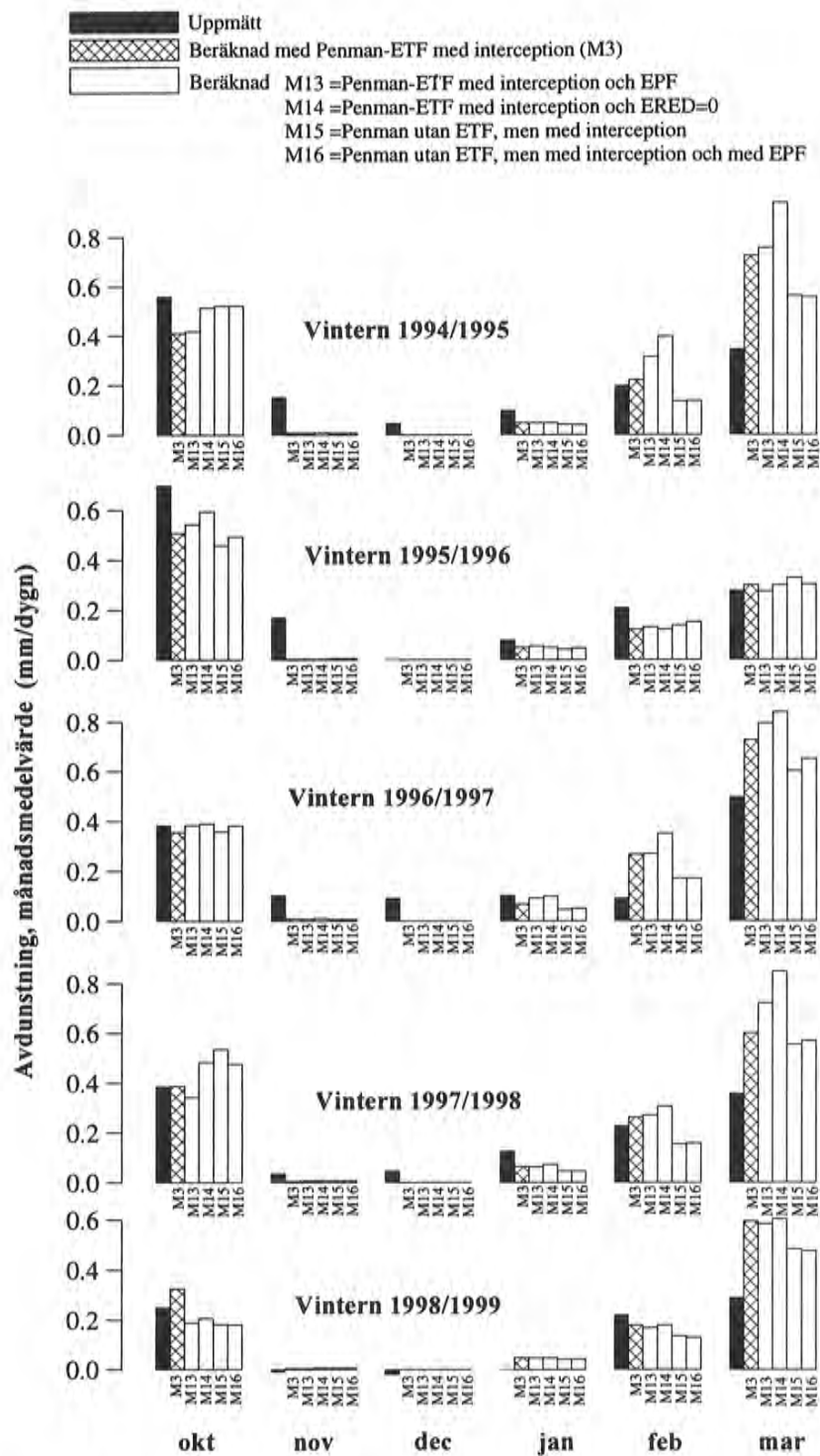
|                                   | okt | nov | dec | jan | feb | mars |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Ny STF-faktor                     | 0,4 | 0,7 | 0,4 | 0,9 | 1,2 | 1,1  |
| Gammal STF-faktor, Thornthwaite-A | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,6 | 1,9 | 2,4  |
| Gammal STF-faktor, Thornthwaite-B | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8  |

### 3.4. Ytterligare avdunstningsberäkningar

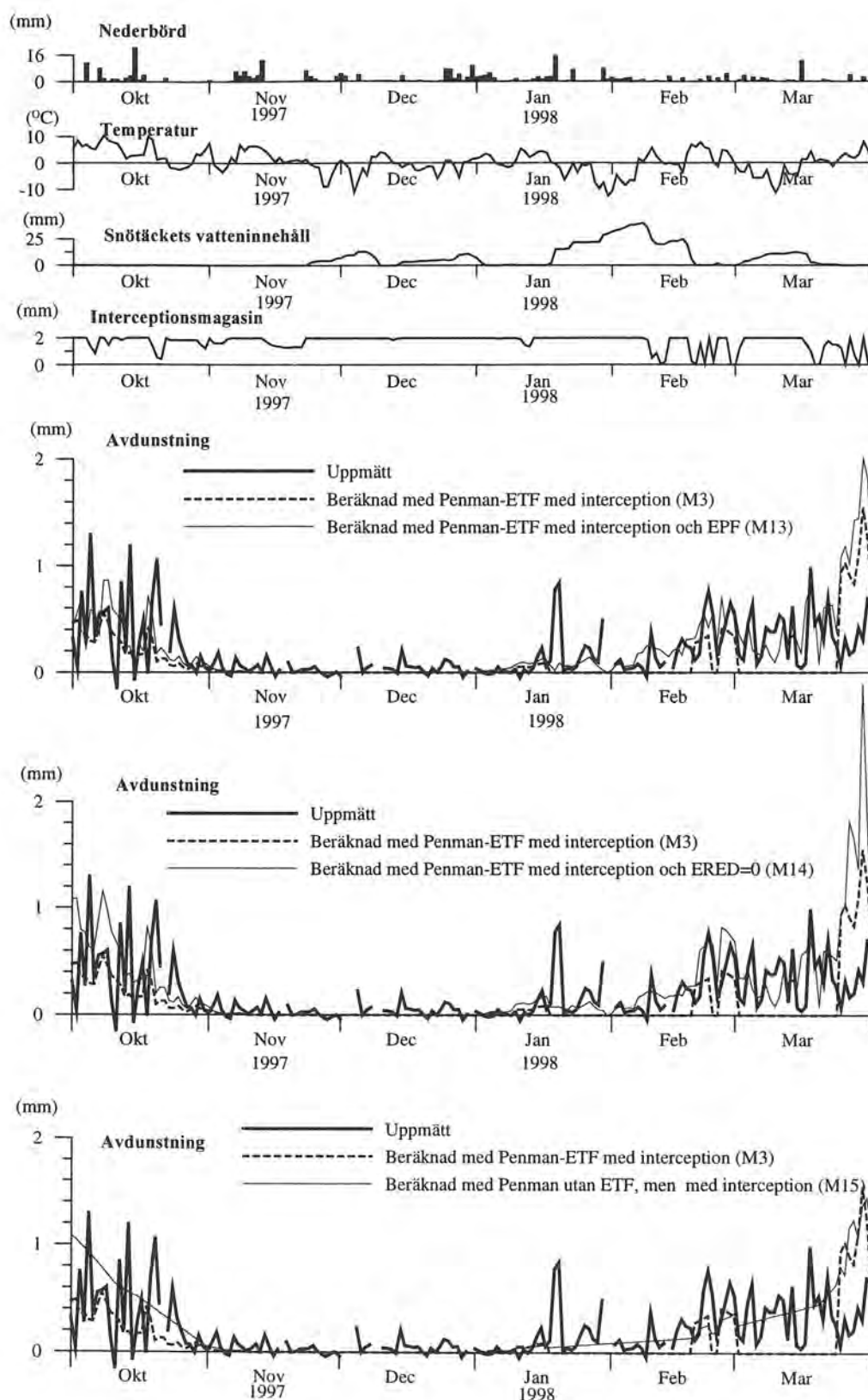
Utöver de 12 första beräkningarna (M1-M12), testades ytterligare fyra varianter (M13-M16) av beräkningar i HBV-modellen. Vid dessa beräkningar utgicks från den variant av de första beräkningarna som gav bäst avdunstningsvärden, d.v.s. Penman-ETF med interception (M3). Införandet av EPF (M13) innebär en minskning av avdunstningen under de dygn det faller nederbörd. Denna korrektion gav en liten förbättring av avdunstningsberäkningens  $R^2$ -värde (förklarad varians) (tabell 8 och figur 16 och 17). Vidare gjordes tester att sätta parametern ERED till 0 (M14). Detta innebär att avdunstning från marken sker oberoende av interceptionsavdunstningen och gör att avdunstningen ökar vissa dagar. Metoden gav sämre överensstämmelse med mätningarna. Avdunstningen överskattades med 19% mot 5% innan. En test har också gjorts att ta bort temperaturkorrektionen, ETF (M15). Detta gav en förbättring vad det gäller  $R^2$ -värdet för avdunstningen. Det bästa  $R^2$ -värdet erhöles med Penman utan ETF, men med EPF (M16) (tabell 8). Förbättringen beror dock även av egenskaperna hos den förklarade variansen. När den dagliga korrektionen (ETF) tas bort, erhålls en beräknad avdunstning utan stora variationer från dag till dag. Eftersom den förklarade variansen till stor del avspeglar hur väl toppvärden i avdunstningsberäkningen överensstämmer med mätningarna, kan en jämn beräkningsserie på så sätt ge högre  $R^2$ -värde än en beräkningsserie med snabba växlingar från dag till dag.

Tabell 8. Procentuellt fel i avdunstningsberäkningarna för Norunda i HBV-modellen jämfört med mätningarna. Tabellen anger dels det totala felet, dels medelfelet under de fem olika vintrarna, dels medelfelet för varje vintermånad. I sista kolumnen anges  $R^2$ -värden. För närmare beskrivning av de olika metoderna, se stycke 2.2. och tabell 2. De två sista raderna anger Penman utan ETF.

| Metod |                          | Avvikelse (i %) mellan beräknad och uppmätt avdunstning |               |               |               |               |               |     |     |      |     |     |     | R <sup>2</sup> -värde |
|-------|--------------------------|---------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----------------------|
|       |                          | totalt                                                  | 1994/<br>1995 | 1995/<br>1996 | 1996/<br>1997 | 1997/<br>1998 | 1998/<br>1999 | okt | nov | dec  | jan | feb | mar |                       |
| M3    | Penman-ETF, interc       | 5                                                       | 1             | -31           | 11            | 12            | 60            | -13 | -93 | -100 | -32 | 11  | 66  | -0,04                 |
| M13   | Penman-ETF, interc,EPF   | 6                                                       | 0             | -30           | 19            | 10            | 56            | -12 | -94 | -100 | -29 | 11  | 68  | -0,01                 |
| M14   | Penman-ETF,interc,ERED=0 | 19                                                      | 19            | -25           | 28            | 31            | 69            | 4   | -92 | -100 | -28 | 22  | 85  | -0,08                 |
| M15   | Penman, interc           | -3                                                      | -9            | -32           | -7            | 11            | 49            | 0   | -93 | -100 | -46 | -22 | 43  | 0,15                  |
| M16   | Penman, interc, EPF      | 0                                                       | -9            | -30           | -1            | 8             | 72            | 0   | -93 | -100 | -44 | -2  | 45  | 0,20                  |

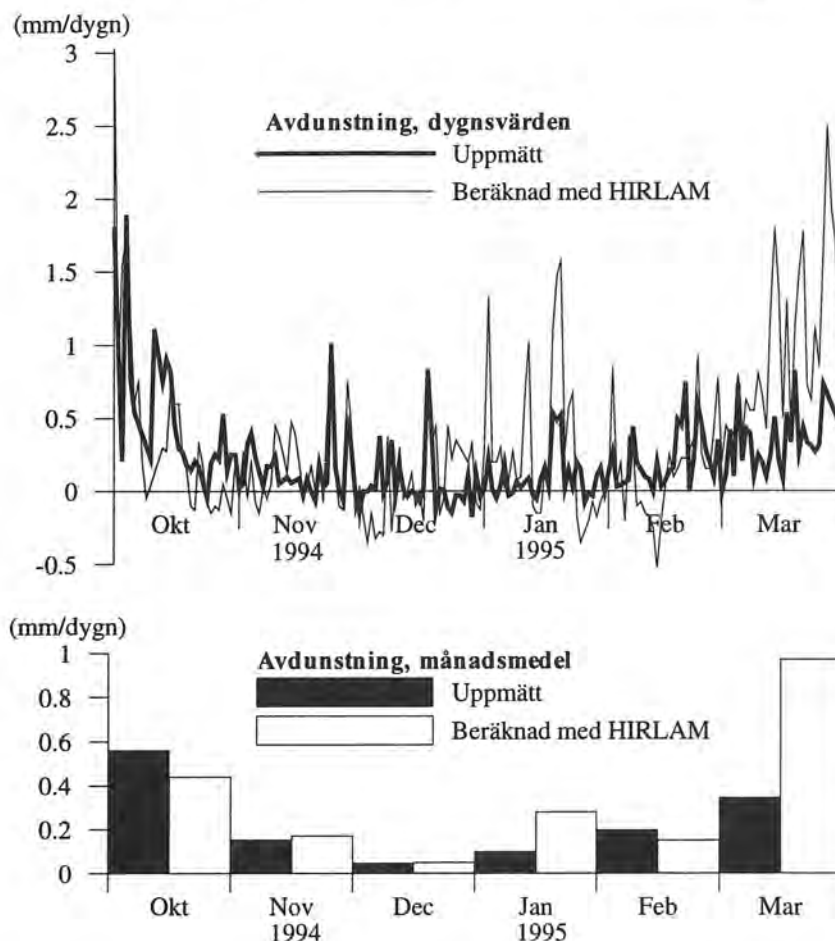


Figur 16. Månadsmedelvärden för uppmätt och beräknad avdunstning.



Figur 17. Resultat från HBV-beräkningarna med EPF, ERED=0 samt med Penman-avdunstning utan ETF. Snötäckets vatteninnehåll och interceptionsmagasinets storlek skiljer sig mellan de olika metoderna och de som är uppritade i figuren är från Penman-ETF. För närmare beskrivning av de olika metoderna se tabell 2.

Avdunstningen beräknas rutinmässigt även i den meteorologiska prognosmodellen HIRLAM. I figur 18 visas en jämförelse mellan avdunstningsvärdena för de gridpunkter i HIRLAM som ligger närmast Norunda och den uppmätta avdunstningen. Även HIRLAM ger en överskattning av avdunstningen i januari och mars 1995. Den förklarade variansen ( $R^2$ ) för denna beräkning är  $-1,0$ . Vintern 1994/1995 överskattar HIRLAM avdunstningen med 47%.

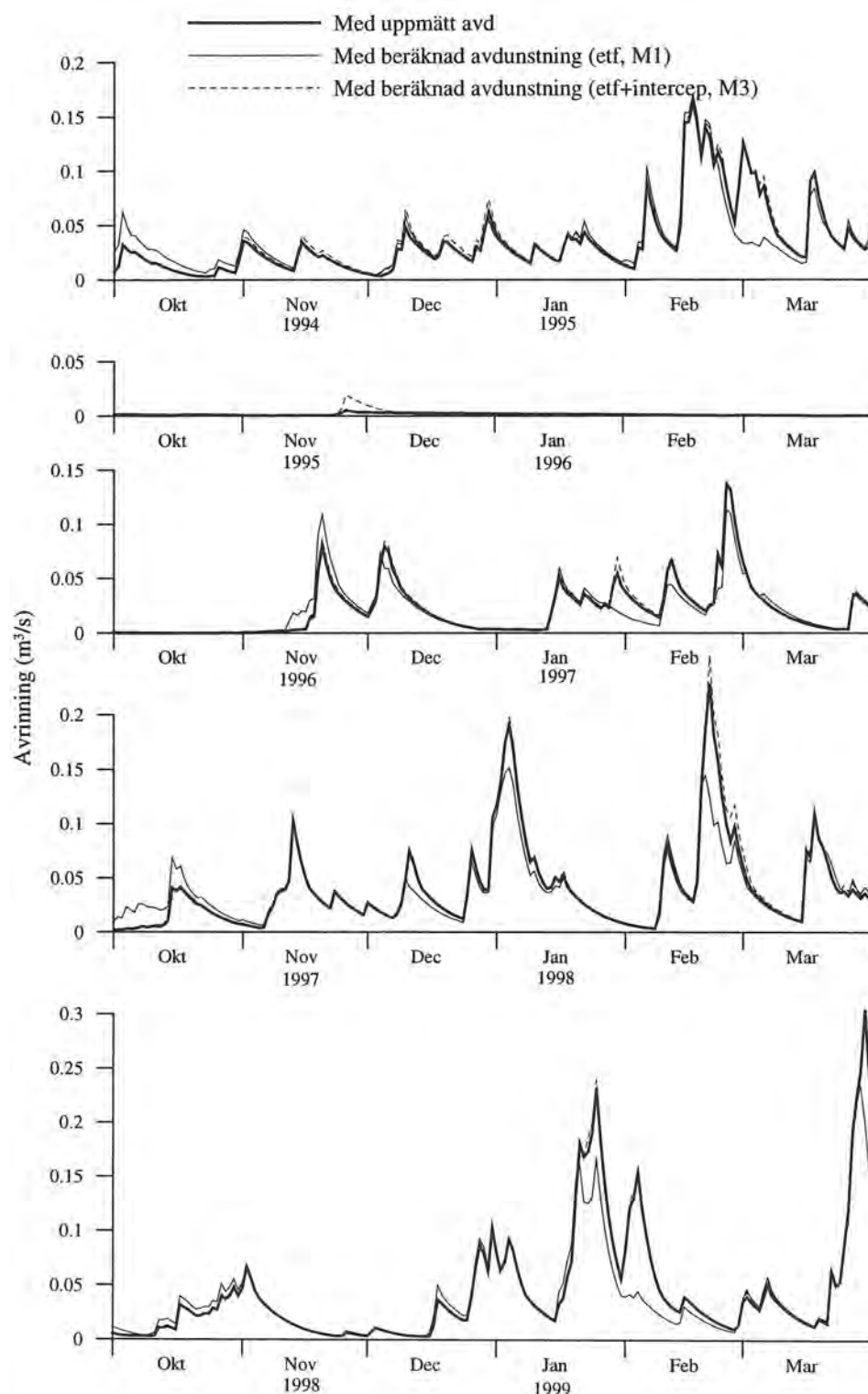


Figur 18. Beräknad avdunstning i SMHIs meteorologiska modell, HIRLAM, i jämförelse med uppmätt avdunstning.

### 3.5 Avrinning

Vi har i kapitel 3.3 och 3.4 konstaterat att avdunstningsvärdena i HBV-modellen avviker från den uppmätta avdunstningen. Det är av stor betydelse att undersöka hur felet i avdunstning påverkar avrinningssimuleringen. Det finns inga tillgängliga avrinningsmätningar i Norunda som kan jämföras med HBV-modellens beräknade avrinning. Istället har en jämförelse gjorts mellan tre modellberäknade avrinningsserier (figur 19), dels med den uppmätta avdunstningen som indata, dels med avdunstning beräknad med Penman-ETF, med och utan interception (M1 och M3). Avrinningen har beräknats som ett tänkt flöde i kubikmeter per sekund från det 3 km<sup>2</sup> stora området runt mätmasten i Norunda. Anledningen att avrinningen är så låg vintern 1995/1996 är att snön ligger kvar hela vintern (figur 11) och vårflo den kommer först efter mätperiodens slut. Avrinningen i modellsimuleringen med avdunstning beräknad med Penman-ETF och interception skiljer sig lite från avrinning beräknat med uppmätt avdunstning. Simuleringen med Penman-ETF utan interception (M1) ger för hög avrinning i

oktober och november och för låg avrinning under vårfloden. Att avrinningen under vårfloden blir lägre kan förklaras med att en lägre snöfallskorrektion har använts och därför finns inte lika mycket snö att smälta och avrinningen blir lägre.



Figur 19. HBV-beräknad avrinning med avdunstningen beräknad på tre olika sätt. Dels med uppmätt avdunstning som indata till modellen, dels med beräknad avdunstning med Penman-ETF, med och utan interception. Beräkningarna är gjorda för ett område på  $3 \text{ km}^2$  runt mätmasten i Norunda.

## 4. Diskussion

Tidigare har man antagit att HBV-modellen underskattar avdunstningen under vintern. Man har i modellberäkningarna tvingats att korrigera snönederbörden med en faktor ner till 0,7 för att få vattenbalansen att stämma. Störst har korrektionen varit för skogsområden i södra Sverige. I området Vattholma, som ligger i närheten av Norunda, är HBV-modellen kalibrerad mot uppmätt flöde. Här är snöfallskorrektionen 0,8 för skog, vilket motsvarar en minskning av uppmätt snönederbörd med cirka 20 mm per vinter, när det egentligen borde vara en ökning av nederbörden med cirka 20 mm, eftersom den uppmätta nederbörden inte är korrigerad för vindförluster. Nederbördskorrektionen från Vattholma har använts vid modellberäkningarna i Norunda i de fall då interception inte inkluderats i beräkningarna. Då man räknat med ett interceptionsmagasin har mer rimliga värden på korrektionsfaktorerna använts (1,1 för regn och 1,2 för snö). De vanligtvis låga korrektionsfaktorerna för snö har tidigare motiverats med att avdunstningen vintertid underskattats i modellen. De jämförelser som här gjorts mellan uppmätt och beräknad avdunstning (tabell 5) visar att man i de flesta fall i detta område inte gör någon underskattning av avdunstningen. Endast beräkningarna med Penmanavdunstning utan interceptionsmagasin (M1) ger en underskattning samtliga vintrar. Detta är en av de metoder som använts mest i det rutinmässiga arbetet på SMHI. Underskattningen av avdunstningen i denna beräkning (M1) är i medeltal för de fem vintrarna 16 mm per vinter under den tid då det ligger snö på marken. Detta är betydligt mindre än de cirka 40 mm vi antar att felet i snönederbörden i HBV-modellen är. De låga snöfalls-korrektionerna kan sålunda inte enbart förklaras av brister i avdunstningsberäkningen.

Beräkningar den kalla och snörika vintern 1995/1996 gav en underskattning av avdunstningen med flertalet av de använda metoderna (figur 11). Man kan anta att förhållandena i Norunda denna vinter bättre motsvarar förhållandena längre norrut i landet en normal vinter.

Av de metoder som idag används för att beräkna avdunstning gav Penman-ETF generellt bättre resultat än Thornthwaitemetoden för de studerade vintermånaderna i Norunda. Det bör dock påpekas att Thornthwaitemetoden inte är kalibrerad utan ett standardvärde (0,25) har här använts på modellparametern *ATHORN*. Om möjlighet funnits att kalibrera modellen kunde resultatet för Thornthwaitemetoden ha förbättrats. Kalibreringen påverkar dock inte fördelningen av avdunstning i tiden, utan enbart avdunstningens storlek. Utifrån avdunstningsmätningarna har nya månadsfaktorer i Thornthwaitemetoden beräknats. Dessa värden är lägre i februari och mars jämfört med de faktorer som används mest på SMHI (Thornthwaite-A). Vi rekommenderar dock inte att de nya månadsfaktorerna används, eftersom de är framtagna för Norundaområdet och det är okänt hur bra de stämmer i övriga delar av landet. De månadsfaktorer som idag används (Thornthwaite-A) är framtagna att gälla hela landet.

Införandet av ett interceptionsmagasin till Penman-ETF-simuleringen gav en förbättring av den beräknade avdunstningen. Denna förbättring påverkade även avrinningssimuleringen. Vi rekommenderar därför att använda ett interceptionsmagasin i HBV-modellen då avdunstningen beräknas med Penman-ETF-metoden. När ett interceptionsmagasin införs kan också mer rimliga värden på nederbörds-korrektionen användas. Att ta bort temperaturkorrektionen, ETF, och istället införa en nederbörds-korrektion, EPF (M16) gav även det ett förbättrat  $R^2$ -värde för avdunstningen. Det bör dock poängteras att dessa slutsatser enbart gäller för vintermånaderna i detta område. Då temperaturkorrektionen, ETF, ursprungligen infördes i HBV-modellen (Lindström och Bergström 1992) studerades främst den förbättring av avrinningssimuleringen som erhöles under svala sommarperioder.  $R^2$ -värdet kan också vara

något missvisande i detta fallet, eftersom simuleringen utan ETF-korrektion ger mer utjämnade avdunstningsvärden och därmed bättre  $R^2$ -värde.

Vi kan konstatera att det enligt mätningarna sker avdunstning trots att det ligger snö på marken. Hur stor del av denna avdunstning som kommer från interceperad snö, från snötäcket på marken och från bara fläckar mellan snötäckt mark är svårt att bestämma. Tidigare undersökningar (Lundberg och Halldin 1994, Harding och Pomeroy 1996, Lundberg m.fl. 1998) visar att större delen av avdunstningen vid dessa tillfällen kommer från interceptionsmagasinet. Avdunstningsberäkningarna (Penman) i HBV-modellen förbättrades också för Norunda vid införandet av ett interceptionsmagasin, men ingen ytterligare förbättring erhöles vid införandet av avdunstning under dagar då det fanns ett snötäcke på marken.

Det är svårt att göra några generella förändringar av avdunstningsberäkningarna i HBV-modellen baserat på denna studie, eftersom de slutsatser som dragits vid denna undersökning endast gäller för vinterperioden, då ca 10% av den totala avdunstningen under året sker. Nya rutiner för avdunstningsberäkningarna bör även grundas på studier av avdunstningen under övrig tid av året då avdunstningen har betydligt större inverkan på vattenbalansen. För att kunna använda HBV-modellen operativt krävs att indata till modellen skall finnas tillgängligt för hela landet. Därför bör inte andra indata användas än de variabler som mäts vid SMHIs meteorologiska stationer (nederbörd, torr och våt temperatur, molnighet, vindriktning och vindhastighet). Idag används enbart nederbörd och lufttemperatur i HBV-modellen. Modellberäkningar i HIRLAM, där avdunstningen beräknas med hjälp av energibalans, ger i detta område inte bättre överensstämmelse med mätdata än de enkla beräkningar som används i HBV-modellen. Detta stödjer tanken att dessa avancerade metoder för avdunstningsberäkning i nuläget inte skulle förbättra resultaten om de infördes i HBV-modellen. För att vidareutveckla och anpassa mer fysikaliskt baserade avdunstningsberäkningar för användning i HBV-modellen bör ytterligare studier av strålning och ångtrycksdeficit ske. Enligt figur 6 och 7 finns det ett visst samband mellan den uppmätta avdunstningen och dessa variabler. Dessa storheter kan bestämmas utifrån de uppmätta meteorologiska variablerna och ekvationerna i stycke 2.4.

## 5. Slutsatser

- Avdunstningen under månaderna oktober till mars uppgår i Norundaområdet totalt till cirka 35 mm.
- Det sker en betydande avdunstning trots att det ligger snö på marken, i Norundaområdet cirka 15 mm per vinter.
- HBV-modellen ger inte så stor underskattning av avdunstningen vintertid som man tidigare antagit.
- Av de undersökta beräkningsmetoderna i HBV-modellen ger Penman-ETF-metoden generellt något bättre värden på avdunstningen än Thornthwaite-metoden. Betydelsen av de i Thornthwaite-metoden använda månadsfaktorerna (STF) är stor.
- Införandet av ett interceptionsmagasin till Penman-ETF-metoden ger en förbättring av den simulerade avdunstningen.
- Det finns ett påvisbart samband mellan avdunstning vintertid och ångtrycksdeficit. Försök bör göras att inkludera denna variabel i avdunstningsberäkningen i HBV-modellen.

## **6. Slutord**

Denna studie har utförts med stöd av ELFORSK via HUVA (Hydrologiskt UtvecklingsArbete) och SMHI. Barbro Johansson och Göran Lindström vid SMHIs forskningsavdelning har bidragit med värdefulla råd och synpunkter under arbetets planering och vid sammanställningen av denna rapport. Achim Grelle och Mattias Lundblad ansvarade för mätningarna i Norunda.

## 6. Referenser

- Bengtsson, L. (1980) Evaporation from a snow cover – Review and discussion of measurements. *Nordic Hydrology*, 11:221-234.
- Bergström, S. (1992). The HBV model – its structure and applications. SMHI RH No. 4.
- Bringfelt, B. (1996). Test of a new land surface treatment in HIRLAM. Hirlam technical report No 23.
- Calder, I.R. (1985) What are the limits on forest evaporation?-Comment. *Journal of Hydrology* 30:179-184.
- Carlsson, B. (1985). Vindförluster vid mätning av snönederbörd med SMHI-nederbördsräknaren. SMHI Rapport HO 25.
- Eriksson, B. (1981). Den potentiella evapotranspirationen i Sverige. SMHI Rapport RHO 27.
- Eriksson, B. (1983). Data rörande Sveriges nederbörds klimat. Normalvärden för perioden 1951-80. SMHI Reports MK 1983:28
- Evremar, Å. (1994). Avdunstningens höjdberoende i Svenska fjällområden bestämd ur vattenbalans och med modellering. SMHI Hydrologi No. 52.
- Gardelin, M. och Lindström, G. (1996) Priestley-Taylor Evapotranspiration in HBV-simulations. *Nordic Hydrology* 28:233-246.
- Grelle, A. och Lindroth, A. (1996). Eddy-correlation system for long term monitoring of fluxes of heat, water vapour and CO<sub>2</sub>. *Global Change Biology* 2:297-307.
- Harding, R.J. och Pomeroy, J.W. (1996). The Energy Balance of the Winter Boreal Landscape. *Journal of Climate*, 9:2778-2787.
- Johnson, R.C. (1990). The interception, throughfall and stemflow in a forest in Highland Scotland and the comparison with other upland forests in the U.K. *Journal of Hydrology*, 118:281-287.
- Lemmelä, R. och Kuusisto, E. (1974). Evaporation from snow cover. *Hydrological Science Bulletin*, XIX, 4, 541-548.
- Leydecker, A. och Melack, J.M. (1999). Evaporation from Snow in the Central Sierra Nevada of California. *Nordic Hydrology*, 30:81-108.
- Lindström, G och Bergström, S. (1992). Improving of the HBV and PULSE-models by use of temperature anomalies. *Vannet i Norden*, No.1 16-23.
- Lindström, G., Gardelin, M. och Persson, M. (1994). Conceptual modelling of evapotranspiration for simulations of climate change effects. SMHI RH No.10.

Lindström, G., Gardelin, M., Johansson, B., Persson, M. och Bergström, S. (1996). HBV-96 – En areellt fördelad modell för vattenkrafthydrologin. SMHI Rapport RH Nr 12.

Lindström, G., Johansson, B., Persson, m., Gardelin, M. och Bergström, S. (1997) Development and test of the distibuted HBV-96 hydrological model. *Journal of Hydrology* 201:272-288.

Lundberg, A., Calder, I. och Harding, R. (1998). Evaporation of intercepted snow: measurement and modelling. *Journal of Hydrology*, 206:151-163.

Lundberg, A. och Halldin, S (1994). Evaporation from intercepted snow. *Water resources research*, 30:2587-2598.

Lundin, L.C., Cienciala, E., Grelle, A., Halldin, S., Hjelm, P., Kellner, E., Lindroth, A., Mölder, M., Lundberg, A., Moren, A-S., Nord, T., Seibert, J. och Stähli, M. (1999). Continuous long-term measurements of soil-plant-atmosphere variables at a forest site. *Agricultural and Forest Meteorology* 98-99: 53-74.

Nash, J.E. och Sutcliffe, J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models. Part I: A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10:282-290.

Penman, H.L. (1948). Natural evapotranspiration from open water, bare soil and grass. *Proc. R. Soc. London, Ser A*, 193:120-145.

Thornthwaite, C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38:55-94.

Vehviläinen, B. (1992). Snow cover models in operational watershed forecasting. Publication of Water and Environment Research Institute 11, National Board of Waters and the Environment, Helsinki, 1992.

## Bilaga 1. Parametrar och indatastationer för HBV-simuleringarna.

### Modellsimuleringarna

|     |                                                          |
|-----|----------------------------------------------------------|
| M1  | Penman med ETF                                           |
| M2  | Penman med ETF och avd även om snötäcke                  |
| M3  | Penman med ETF och interception                          |
| M4  | Penman med ETF och interception och avd även om snötäcke |
| M5  | Thornthwaite-A                                           |
| M6  | Thornthwaite-A med avd även om snötäcke                  |
| M7  | Thornthwaite-A med interception                          |
| M8  | Thornthwaite-A med interception och avd även om snötäcke |
| M9  | Thornthwaite-B                                           |
| M10 | Thornthwaite-B med avd även om snötäcke                  |
| M11 | Thornthwaite-B med interception                          |
| M12 | Thornthwaite-B med avd även om snötäcke                  |
| M13 | Penman med ETF och interception och EPF                  |
| M14 | Penman med ETF och interception och ERED=0               |
| M15 | Penman utan ETF med interception                         |
| M16 | Penman utan ETF med interception och EPF                 |

### Modellparametrar i HBV-modellen

| Parameter | Modellsimulering nr (se tabellen ovan) |      |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |      |
|-----------|----------------------------------------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|
|           | M1                                     | M2   | M3  | M4  | M5   | M6   | M7   | M8   | M9   | M10  | M11  | M12  | M13  | M14 | M15 | M16  |
| ECORR     | -                                      | -    | -   | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 1,15 | -   | -   | 1,15 |
| SFCF      | 0,9                                    | 0,9  | 1,2 | 1,2 | 0,9  | 0,9  | 1,2  | 1,2  | 0,9  | 0,9  | 1,2  | 1,2  | 1,2  | 1,2 | 1,2 | 1,2  |
| RFCF      | -                                      | -    | 1,1 | 1,1 | -    | -    | 1,1  | 1,1  | -    | -    | 1,1  | 1,1  | 1,1  | 1,1 | 1,1 | 1,1  |
| FOSFCF    | 0,89                                   | 0,89 | 1   | 1   | 0,89 | 0,89 | 1    | 1    | 0,89 | 0,89 | 1    | 1    | 1    | 1   | 1   | 1    |
| ETF       | 0,1                                    | 0,1  | 0,1 | 0,1 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 0,1  | 0,1 | -   | -    |
| EPF       | -                                      | -    | -   | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 0,1  | -   | -   | 0,1  |
| ICFI      | -                                      | -    | 0   | 0   | -    | -    | 0    | 0    | -    | -    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0    |
| ICFO      | -                                      | -    | 2   | 2   | -    | -    | 2    | 2    | -    | -    | 2    | 2    | 2    | 2   | 2   | 2    |
| ERED      | -                                      | -    | 0,5 | 0,5 | -    | -    | 0,5  | 0,5  | -    | -    | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0   | 0,5 | 0,5  |
| STF       | -                                      | -    | -   | -   | 2    | 2    | 2    | 2    | 1    | 1    | 1    | 1    | -    | -   | -   | -    |
| ATHORN    | -                                      | -    | -   | -   | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | -    | -   | -   | -    |
| TEST7*    | -                                      | 2    | -   | 2   | -    | 2    | -    | 2    | -    | 2    | -    | 2    | -    | -   | -   | -    |

### Meteorologiska stationer

|                   | Variabel   | Vikt i HBV-modellen |
|-------------------|------------|---------------------|
| Films kyrkby      | Temperatur | 1/3                 |
| Uppsala flygplats | Temperatur | 1/3                 |
| Uppsala           | Temperatur | 1/3                 |
| Drälinge          | Nederbörd  | 1/3                 |
| Vattholma         | Nederbörd  | 1/3                 |
| Harbo             | Nederbörd  | 1/3                 |

\* Innebär att avdunstning sker även om det finns ett snötäcke

SMHI ger ut sex rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

| Seriernas namn                            | Publiceras sedan |
|-------------------------------------------|------------------|
| RMK (Rapport Meteorologi och Klimatologi) | 1974             |
| RH (Rapport Hydrologi)                    | 1990             |
| RO (Rapport Oceanografi)                  | 1986             |
| METEOROLOGI                               | 1985             |
| HYDROLOGI                                 | 1985             |
| OCEANOGRAFI                               | 1985             |

I serien HYDROLOGI har tidigare utgivits:

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1 Bengt Carlsson (1985)<br/>Hydrokemiska data från de svenska fältforskningsområdena.</p> <p>2 Martin Häggström och Magnus Persson (1986)<br/>Utvärdering av 1985 års vårflödesprognoser.</p> <p>3 Sten Bergström, Ulf Ehlin, SMHI, och Per-Eric Ohlsson, VASO (1986)<br/>Riktlinjer och praxis vid dimensionering av utskov och dammar i USA. Rapport från en studieresa i oktober 1985.</p> <p>4 Barbro Johansson, Erland Bergstrand och Torbjörn Jutman (1986)<br/>Skåneprojektet - Hydrologisk och oceanografisk information för vattenplanering - Ett pilotprojekt.</p> <p>5 Martin Häggström (1986)<br/>Översiktlig sammanställning av den geografiska fördelningen av skador främst på dammar i samband med septemberflödet 1985.</p> <p>6 Barbro Johansson (1986)<br/>Vattenföringsberäkningar i Södermanlands län - ett försöksprojekt.</p> <p>7 Maja Brandt (1986)<br/>Areella snöstudier.</p> <p>8 Bengt Carlsson, Sten Bergström, Maja Brandt och Göran Lindström (1987)<br/>PULS-modellen: Struktur och tillämpningar.</p> | <p>9 Lennart Funkquist (1987)<br/>Numerisk beräkning av vågor i kraftverksdammar.</p> <p>10 Barbro Johansson, Magnus Persson, Enrique Aranibar and Robert Llobet (1987)<br/>Application of the HBV model to Bolivian basins.</p> <p>11 Cecilia Ambjörn, Enrique Aranibar and Roberto Llobet (1987)<br/>Monthly streamflow simulation in Bolivian basins with a stochastic model.</p> <p>12 Kurt Ehlert, Torbjörn Lindkvist och Todor Milanov (1987)<br/>De svenska huvudvattendragens namn och mynningspunkter.</p> <p>13 Göran Lindström (1987)<br/>Analys av avrinningsserier för uppskattning av effektivt regn.</p> <p>14 Maja Brandt, Sten Bergström, Marie Gardelin och Göran Lindström (1987)<br/>Modellberäkning av extrem effektiv nederbörd.</p> <p>15 Håkan Danielsson och Torbjörn Lindkvist (1987)<br/>Sjökarte- och sjöuppgifter. Register 1987.</p> <p>16 Martin Häggström och Magnus Persson (1987)<br/>Utvärdering av 1986 års vårflödesprognoser.</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- 17 Bertil Eriksson, Barbro Johansson, Katarina Losjö och Haldø Vedin (1987)  
Skogsskador - klimat.
- 18 Maja Brandt (1987)  
Bestämning av optimalt klimatstationsnät för hydrologiska prognoser.
- 19 Martin Häggström och Magnus Persson (1988)  
Utvärdering av 1987 års vårflödesprognoser.
- 20 Todor Milanov (1988)  
Frys förluster av vatten.
- 21 Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval and Maria Elvira Vega (1988)  
Application of the HBV model to the upper Río Cauca basin.
- 22 Mats Moberg och Maja Brandt (1988)  
Snökartläggning med satellitdata i Kultsjöns avrinningsområde.
- 23 Martin Gotthardsson och Sten Lindell (1989)  
Hydrologiska stationsnät 1989. Svenskt Vattenarkiv.
- 24 Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval y Maria Elvira Vega (1989)  
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca superior del Río Cauca.
- 25 Gun Zachrisson (1989)  
Svåra islossningar i Torneälven. Förslag till skadeförebyggande åtgärder.
- 26 Martin Häggström (1989)  
Anpassning av HBV-modellen till Torneälven.
- 27 Martin Häggström and Göran Lindström (1990)  
Application of the HBV model for flood forecasting in six Central American rivers.
- 28 Sten Bergström (1990)  
Parametervärden för HBV-modellen i Sverige. Erfarenheter från modellkalibreringar under perioden 1975 - 1989.
- 29 Urban Svensson och Ingemar Holmström (1990)  
Spridningsstudier i Glan.
- 30 Torbjörn Jutman (1991)  
Analys av avrinningens trender i Sverige.
- 31 Mercedes Rodriguez, Barbro Johansson, Göran Lindström, Eduardo Planos y Alfredo Remont (1991)  
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca del Río Cauto en Cuba.
- 32 Erik Arnér (1991)  
Simulering av vårflöden med HBV-modellen.
- 33 Maja Brandt (1991)  
Snömätning med georadar och snötaxeringar i övre Luleälven.
- 34 Bent Göransson, Maja Brandt och Hans Bertil Wittgren (1991)  
Markläckage och vattendragstransport av kväve och fosfor i Roxen/Glan-systemet, Östergötland.
- 35 Ulf Ehlin och Per-Eric Ohlsson, VASO (1991)  
Utbyggd hydrologisk prognos- och varningstjänst.  
Rapport från studier i USA  
1991-04-22--30.
- 36 Martin Gotthardsson, Pia Rystam och Sven-Erik Westman (1992)  
Hydrologiska stationsnät 1992/Hydrological network. Svenskt Vattenarkiv.
- 37 Maja Brandt (1992)  
Skogens inverkan på vattenbalansen.
- 38 Joakim Harlin, Göran Lindström, Mikael Sundby (SMHI) och Claes-Olof Brandesten (Vattenfall Hydropower AB) (1992)  
Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionering av hel älv.
- 39 Sten Lindell (1993)  
Realtidsbestämning av arealnederbörd.
- 40 Svenskt Vattenarkiv (1995)  
Vattenföring i Sverige. Del 1. Vattendrag till Bottenviken.
- 41 Svenskt Vattenarkiv (1995)  
Vattenföring i Sverige. Del 2. Vattendrag till Bottenhavet.
- 42 Svenskt Vattenarkiv (1993)  
Vattenföring i Sverige. Del 3. Vattendrag till Egentliga Östersjön.

- 43 Svenskt Vattenarkiv (1994)  
Vattenföring i Sverige. Del 4. Vattendrag till Västerhavet.
- 44 Martin Häggström och Jörgen Sahlberg (1993)  
Analys av snösmältningsförlopp.
- 45 Magnus Persson (1993)  
Utnyttjande av temperaturens persistens vid beräkning av volymsprognoser med HBV-modellen.
- 46 Göran Lindström, Joakim Harlin och Judith Olofsson (1993)  
Uppföljning av Flödeskommitténs riktlinjer.
- 47 Bengt Carlsson (1993)  
Alkalinitets- och pH-förändringar i Ume-älven orsakade av minimitappning.
- 48 Håkan Sanner, Joakim Harlin and Magnus Persson (1994)  
Application of the HBV model to the Upper Indus River for inflow forecasting to the Tarbela dam.
- 49 Maja Brandt, Torbjörn Jutman och Hans Alexandersson (1994)  
Sveriges vattenbalans. Årsmedelvärden 1961 - 1990 av nederbörd, avdunstning och avrinning.
- 50 Svenskt Vattenarkiv (1994)  
Avrinningsområden i Sverige. Del 3. Vattendrag till Egentliga Östersjön och Öresund.
- 51 Martin Gotthardsson (1994)  
Svenskt Vattenarkiv. Översvämningskänsliga områden i Sverige.
- 52 Åsa Evremar (1994)  
Avdunstningens höjdberoende i svenska fjällområden bestämd ur vattenbalans och med modellering.
- 53 Magnus Edström och Pia Rystam (1994)  
FFO - Stationsnät för fältforskningsområden 1994.
- 54 Zhang Xingnan (1994)  
A comparative study of the HBV model and development of an automatic calibration scheme.
- 55 Svenskt Vattenarkiv (1994)  
Svenskt dammregister - Södra Sverige.
- 56 Svenskt Vattenarkiv (1995)  
Svenskt dammregister - Norra Sverige.
- 57 Martin Häggström (1994)  
Snökartering i svenska fjällområdet med NOAA-satellitbilder.
- 58 Hans Bertil Wittgren (1995)  
Kvävetransport till Slätbaken från Söderköpingsåns avrinningsområde
- 59 Ola Pettersson (1995)  
Vattenbalans för fältforskningsområden.
- 60 Barbro Johansson, Katarina Losjö, Nils Sjödin, Remigio Chikwanha and Joseph Merka (1995)  
Assessment of surface water resources in the Manyame catchment - Zimbabwe.
- 61 Behzad Koucheki (1995)  
Älvtemperaturers variationer i Sverige under en tioårsperiod.
- 62 Svenskt Vattenarkiv (1995)  
Sänkta och torrlagda sjöar.
- 63 Malin Kanth (1995)  
Hydrokemi i fältforskningsområden.
- 64 Mikael Sundby, Rikard Lidén, Nils Sjödin, Helmer Rodriguez, Enrique Aranibar (1995)  
Hydrometeorological Monitoring and Modelling for Water Resources Development and Hydropower Optimisation in Bolivia.
- 65 Maja Brandt, Kurt Ehlert (1996)  
Avrinningen från Sverige till omgivande hav.
- 66 Sten Lindell, Håkan Sanner, Irena Nikolushkina, Inita Stikute (1996)  
Application of the integrated hydrological modelling system IHMS-HBV to pilot basin in Latvia
- 67 Sten Lindell, Bengt Carlsson, Håkan Sanner, Alvina Reihan, Rimma Vedom (1996)  
Application of the integrated hydrological modelling system IHMS-HBV to pilot basin in Estonia
- 68 Sara Larsson, Rikard Lidén (1996)  
Stationstäthet och hydrologiska prognoser.

- 69 Maja Brandt (1996)  
Sedimenttransport i svenska vattendrag  
exempel från 1967-1994.
- 70 Svenskt Vattenarkiv (1996)  
Avrinningsområden i Sverige. Del 4.  
Vattendrag till Västerhavet.
- 71 Svenskt Vattenarkiv (1996)  
Svenskt sjöregister. 2 delar
- 72 Sten Lindell, Lars O Ericsson, Håkan Sanner,  
Karin Göransson SMHI  
Malgorzata Mierkiewicz , Andrzej  
Kadlubowski, IMGW (1997)  
Integrated Hydrological Monitoring and  
Forecasting System for the Vistula River  
Basin. Final report.
- 73 Maja Brandt, Gun Grahn (1998)  
Avdunstning och avrinningskoefficient i  
Sverige 1961-1990. Beräkningar med HBV-  
modellen.
- 74 Anna Eklund (1998)  
Vattentemperaturer i sjöar, sommar och vinter  
- resultat från SMHIs mätningar.
- 75 Barbro Johansson, Magnus Edström, Katarina  
Losjö och Sten Bergström (1998)  
Analys och beräkning av  
snösmältningsförlopp.
- 76 Anna Eklund (1998)  
Istjocklek på sjöar.
- 77 Björn Bringfelt (1998)  
An evapotranspiration model using SYNOP  
weather observations in the Penman-Monteith  
equation
- 78 Svenskt Vattenarkiv (1998)  
Avrinningsområden i Sverige. Del 2  
Vattendrag till Bottenhavet.
- 79 Maja Brandt, Anna Eklund (1999)  
Snöns vatteninnehåll Modellberäkningar  
och statistik för Sverige
- 80 Bengt Carlsson (1999)  
Some facts about the Torne and Kalix  
River Basins.  
A contribution to the NEWBALTIC II  
workshop in Abisko June 1999.
- 81 Anna Eklund (1999)  
Isläggning och islossning i svenska sjöar.
- 82 Svenskt Vattenarkiv (2000)  
Avrinningsområden i Sverige. Del 1.  
Vattendrag till Bottenviken.







Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut  
601 76 Norrköping  
Tel 011-495 80 00 · Fax 011-495 80 01