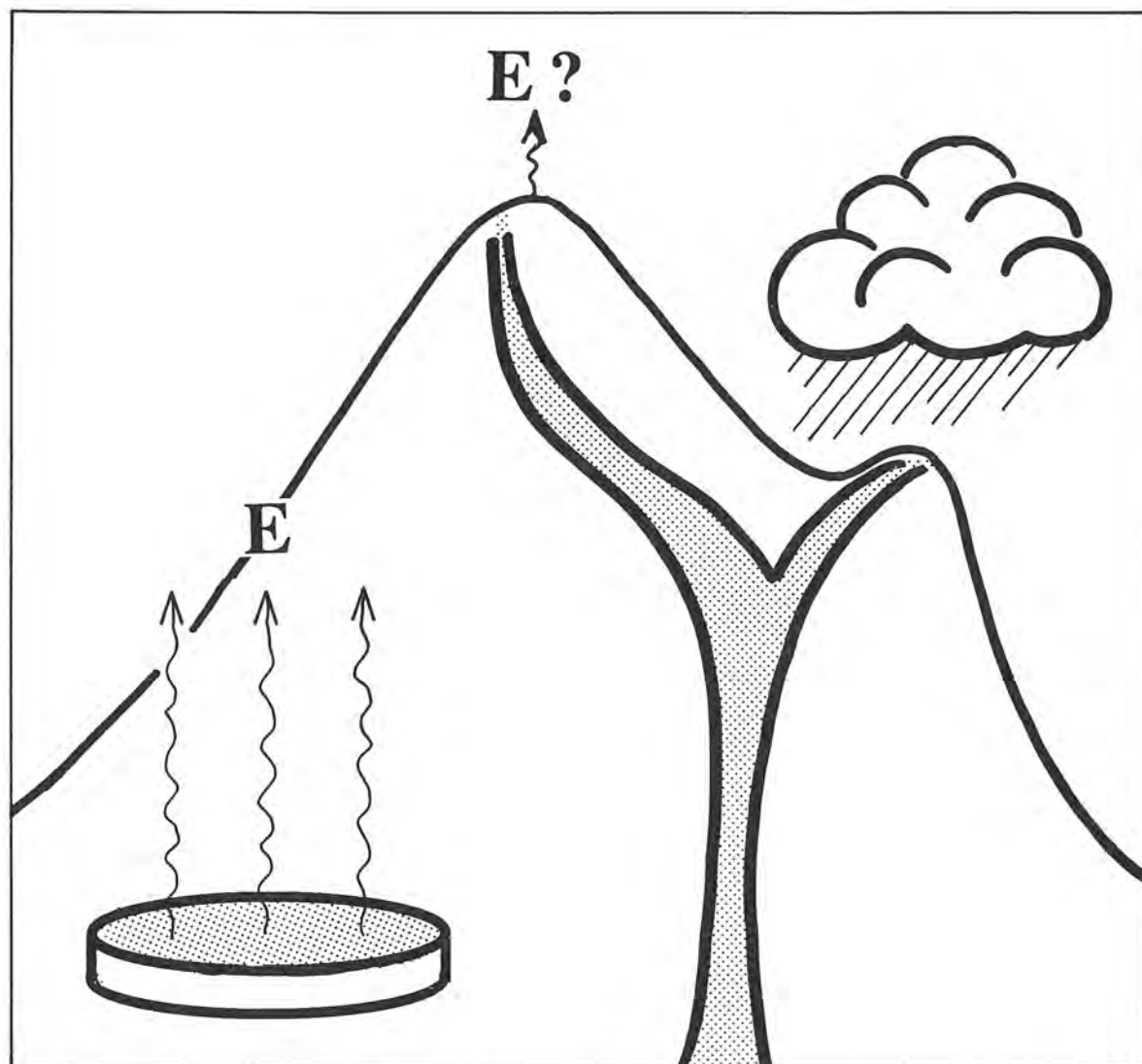




Avdunstningens höjdberoende i svenska fjällområden bestämd ur vattenbalans och med modellering

Åsa Evremar

REFERAT

AVDUNSTNINGENS HÖJDBEROENDE I SVENSKA FJÄLLOMRÅDEN BESTÄMD UR VATTENBALANS OCH MED MODELLERING

Ytterligare indexord: HBV-modellen, Priestley-Taylors formel

Avdunstningen, en av huvudkomponenterna i vattenbalansen, är dåligt känd i svenska fjälltrakter. Den är svår att mäta tillförlitligt och mätningar görs endast i undantagsfall. För att säkrare kunna förutsäga den tillgängliga tillrinningen för kraftgenerering eller riskerna för skadegörande höga flöden är det viktigt att känna till vattenbalansen i fjällen. Eftersom många av avdunstningens drivvariabler beror av höjden över havet undersöktes i detta arbete om avdunstningens variation i fjällen kunde beskrivas med ett enkelt samband. Målet med arbetet var att klarlägga om avdunstningen i svenska fjälltrakter har ett höjdberoende samt att undersöka om ett eventuellt sådant beroende kunde användas för att förbättra HBV-modellen. Detta gjordes genom att beräkna avdunstningen som en restterm ur vattenbalansekvationen för ett antal högt liggande avrinningsområden i Ljusnan, Indalsälven och Luleälven. Vid beräkningarna användes långtidsårsmedelvärden 1961-90. Genom linjär regression beräknades ett höjdberoende. Resultatet infördes i HBV-modellen som en korrektionsfaktor i avdunstningsberäkningen. I modellen testades även om förbättringar kunde fås genom att införa ett höjdberoende hos ingående variabler i Priestley-Taylors formel och dygnsvis beräkna den potentiella avdunstningen i det simulerade området. Simuleringar med HBV-modellen gjordes för områdena Ljusnedal, Torrön och Kultsjön. Resultatet av beräkningarna ur vattenbalansen blev att avdunstningen i områdena i Ljusnan sjönk med 24 mm/100 m och år. Avdunstningen i Indalsälven sjönk med 54 mm/100 m och år. För områdena i Luleälven ledde beräkningarna till kondensation i flera områden, troligtvis beroende på för få nederbördsräkare i områdena. Trots detta fick avdunstningen även där ett höjdberoende som var 48 mm/100 m och år. Den förklarade variansen vid simuleringar med HBV-modellen ökade för Kultsjön vid införandet av höjdberoende hos avdunstningen. Den minskade dock för Torrön och Ljusnedal. Skillnaden då man inför ett höjdberoende hos avdunstningen blev att vårfloden avtog snabbare och vattenföringstopparna under sommaren blev större. Modellen försämrades i de fall då modellen i standardutförande simulerade en för kort vårflod och för höga vattenföringstoppar under sommaren. Beräkningarna med Priestley-Taylors formel ledde till att modellens beräknade verkliga avdunstning avtog med 40 mm/100 m och år i Torröns avrinningsområde och 23 mm/100 m och år i Kultsjöns avrinningsområde. Slutsatserna blev att avdunstningen avtar med ca 30 mm/100 m och år i svenska fjälltrakter och att HBV-modellen i vissa fall kan förbättras med denna kunskap.

ABSTRACT

THE ALTITUDE DEPENDENCE OF THE EVAPOTRANSPIRATION IN SWEDISH MOUNTAINS CALCULATED FROM WATER BALANCE AND MODELLING

Å. Evremar Department of Earth Sciences, Hydrology, Uppsala University, Västra Ågatan 24, 753 09 Uppsala, Sweden

Additional index words: HBV-model, Priestley-Taylors formula

The evapotranspiration, one of the main parts of the waterbalance, is not well known in the Swedish mountains. The evapotranspiration is difficult to measure reliably and measurements are only rarely done. To predict the available water quantity for hydro power generation or for the risks for damaging high flows, it is important to know the water balance in the mountains. Since many of the driving variables of the evapotranspiration are dependent on the altitude, it was investigated in this work if the variation of evaporation in the mountains could be approximated in simple functional form. The aim of this work was to make clear if the evaporation in the Swedish mountains has a dependence on the altitude and to investigate if such a possible dependence could be used to improve the HBV-model. This was done by calculating the evapotranspiration as a residual in the water balance equation for a number of high-altitude drainage basins in the river Ljusnan, the river Indalsälven and the river Luleälven. The calculations were done with longtime mean values from the years 1961-90. The altitude dependence was calculated by linear regression. The result was inserted in the HBV-model as a correction factor in the calculation of the evapotranspiration. It was also tested if any improvements in the model could be achieved by introducing an altitude dependence of the variables in the Priestley-Taylor formula. In this case, evapotranspiration was calculated with a daily resolution. Simulations with the HBV-model were performed for the drainage basins Ljusnedal, Torrön and Kultsjön. Evaporation calculated as a water balance residual, decreased 24 mm/100 m and year for the river Ljusnan, 54 mm/100 m and year for the river Indalsälven and 48 mm/100 m and year for the river Luleälven. The result of the calculation in the river Luleälven was condensation in a number of areas. This was probably caused by too few raingauges in the area. The explained variance during simulations with the HBV-model increased in the area of Kultsjön if a dependence on the altitude was inserted. The explained variance however decreased for the areas of Torrön and Ljusnedal. If a dependence on the altitude of the evapotranspiration was inserted in the model the spring flood decreased faster and the peaks of the water discharge were higher during summer. The model produced worse results if the standard version simulated a spring flood that was too short and the discharge peaks during summer that were too high. The Priestley-Taylors formula led to a calculated evapotranspiration in the model that decreased with 40 mm/100 m per year in the drainage basin of Torrön and 23 mm/100 m per year of the drainage basin of Kultsjön. The conclusions of this work was that the evapotranspiration in the Swedish mountains decreases with about 30 mm/100 m per year and that knowledge may improve the HBV-model in some cases.

FÖRORD

Denna rapport är ursprungligen ett examensarbete gjort på Uppsala Universitet hos Institutionen för geovetenskap, Hydrologi vårterminen 1994. Det motsvarar en termins heltidsstudier (20 poäng). Arbetet har kunnat utföras tack vare att SMHI bidragit med handledning och data. Rapporten är i original tryckt på Institutionen för geovetenskap, Hydrologi men är med tillstånd av institutionen och författaren reproducerad som en SMHI-rapport.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

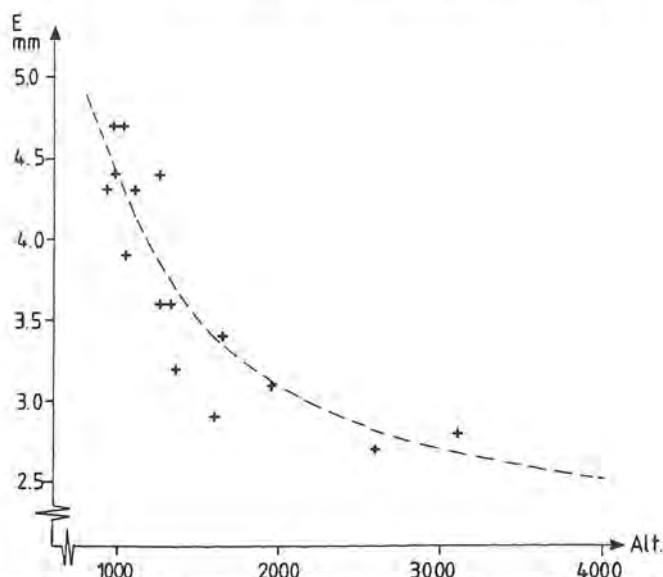
1.	INLEDNING.....	1
2.	BAKGRUND	2
3.	MATERIAL OCH METODER.....	5
3.1	Den verkliga avdunstningens höjdberoende i svenska fjällområden.....	5
3.1.1	Områdesbeskrivning.....	5
3.1.2	Vattenbalansmetoden	5
3.2	Den potentiella avdunstningens höjdberoende i svenska fjälltrakter	7
3.2.1	Penmans formel	7
3.2.2	Priesley-Taylors formel	7
3.2.3	Ingående komponenters höjdberoende.....	9
3.3	HBV-modellens struktur	10
3.3.1	Struktur	10
3.3.2	Indata till HBV-modellen	12
3.4	Modifiering av HBV-modellen	12
3.4.1	Explicit införande av höjdberoende hos den potentiella avdunstningen.....	12
3.4.2	Val av områden och simulerad tidsperiod	12
3.4.3	Sammanfattning av utnyttjade metoder vid simulering med HBV- modellen	13
4.	RESULTAT	14
4.1	Den verkliga avdunstningens höjdberoende	14
4.2	Den potentiella avdunstningens höjdberoende.....	16
4.3	Simuleringar med HBV-modellen.....	17
4.3.1	Explicit införande av höjdberoende hos avdunstningen	17
4.3.2	Införande av avdunstningsberäkningar enligt Priestley-Taylors formel	19
5.	DISKUSSION	22
6.	TACKORD.....	23
7.	REFERENSER.....	24
	Bilaga 1: Nederbördskorrektioner.....	26
	Bilaga 2: Viktning av nederbörd med Thiessenpolygoner	27
	Bilaga 3. Data över undersökta avrinningsområden	28
	Bilaga 4. Känslighetsanalys	37
	Bilaga 5. Potentiell avdunstning beräknad med Penmans formel	39

1. INLEDNING

Avdunstningen är en av huvudkomponenterna i vattenbalansen. Den är också den minst kartlagda bl.a. på grund av att den är mycket svår att mäta. Vattenbalansen överhuvudtaget i fjällen var länge mycket ofullständigt känd. Nederbörds mängden i de svenska fjällen började undersökas först i slutet av 1800-talet. Det framkom då att nederbörden var betydligt större än man dittills trott (Melin, 1943). Fortfarande är vattenbalansen i fjälltrakterna sämre känd än i resten av Sverige. Det är dock viktigt att känna till vattenbalansen även i fjällen t ex för att säkrare kunna förutsäga den tillgängliga tillrinningen för kraftgenerering eller för att förstå riskerna för skadegörande höga flöden. Hittills finns inga direkta undersökningar i Sverige av avdunstningens variation med höjden över havet men det kan vara viktigt att känna till denna variation vid t ex utveckling av hydrologiska modeller och vid klimatologiska undersökningar.

Det finns några få undersökningar utanför Sverige som behandlar avdunstningens höjdberoende. En undersökning gjordes på Papua, Nya Guinea (Keig, Fleming & McAlpine, 1979). Här mättes avdunstningen med avdunstningskärl av klass A-typ på olika höjder. Den allmänna trenden blev att avdunstningen avtar med höjden. Stora variationer fanns dock som förklarades med att luftfuktighetens variation på olika delar av Nya Guinea betyder mer än de faktorer som beror av höjdvariationen. På Hawaii, som har tropiskt klimat, har en liknande undersökning gjorts (Giambelluca & Nullet 1992). Undersökningen utfördes på 950-2130 m ö h och utfördes med en modifierad atmometer. Här blev resultatet att avdunstningen ökar med höjden. Ökningen kunde ej förklaras med förändring av nettostrålning utan anledningen ansågs vara en kraftig värmeöverföring via advektion på hög höjd.

Vid ett projekt som syftade till att anpassa HBV-modellen, en hydrologisk prognosmodell, (Bergström 1976) till en flod i västra Colombia analyserades landets avdunstningsmätningar med avseende på höjden (Häggström, Lindström, Sandoval & Vega, 1988). Colombias klimat präglas av två torra perioder och två våta perioder varje år. Här har avdunstningen mätts på höjder mellan 1000- 3100 m ö h med avdunstningskärl av klass A-typ som har varit i användning mellan 5 och 20 år. Analysen visade att den uppmätta avdunstningen varierar kraftigt med höjden (figur 1). På 1500 m ö h avtog avdunstningen med ca 80 mm/100 m och år medan den på 2500 m ö h sjönk med ca 15 mm/100 m och år.



Figur 1: Uppmätt daglig avdunstning från klass A-kärl i övre delen av Rio Cauca avrinningsområde plottad mot höjden (Häggström, Lindström, Sandoval & Vega, 1988)

I Sverige undersökte Melin (1943) avdunstningen m h a vattenbalansmetoden i Malmagens avrinningsområde i Ljusnan. Medelavdunstningen under åren 1927-40 bestämdes till 144 mm/år. Resultatet kan jämföras med Walléns (1918) värde för södra och mellersta Sverige på 368 mm/år. Melin förklarar sitt låga värde i fjällen med de korta och svala somrarna. På kartor över avdunstningen i Sverige är avdunstningen i fjällområden lägre än på andra platser i Sverige (Eriksson, 1980, Brandt, Jutman & Alexandersson 1994). Det verkar alltså troligt att åavdunstningen på något sätt avtar med höjden i svenska fjällområden.

Målet med examensarbetet var:

1. Att klarlägga om avdunstningsvariationer i de svenska fjällen kunde förklaras m h a områdets höjd över havet. Detta gjordes med vattenbalansmetoden där avdunstningen beräknades som en restterm för ett antal avrinningsområden i de svenska fjällen: Ljusnan, Indalsälven och Luleälven.
2. Att undersöka huruvida kunskap om avdunstningens höjdvariation kunde användas för att förbättra HBV-modellen som i Sverige ofta används för hydrologiska simuleringar. Detta gjordes dels genom att lägga in ett direkt höjdberoende hos avdunstningen och dels genom att införa en enkel fysikalisk formulering av avdunstningsprocessen där hänsyn togs till höjdberoendet hos variablerna som styr avdunstningen. För detta ändamål valdes Priestley-Taylors formel (1972).

2. BAKGRUND

Flödet av vattenånga mellan jordytan och atmosfären är en viktig del av vattnets kretslopp. Vattenångeflödet kan uppstå ur olika processer, ytvattenavdunstning, transpiration och interceptionsavdunstning. Ytvattenavdunstning uppkommer i sjöar, vattendrag eller andra fria vattenytor då vatten direkt omvandlas till vattenånga. Transpiration sker från växter som tar upp vatten ur marken och avger vattenånga från bladens klyvöppningar. Medelvattenförlusten under en växtsäsong från ett skogsområde kan vara 2 liter/m² och dag. Om skogen är torr regleras vattenförlusten genom att träden öppnar eller stänger bladens klyvöppningar. Skogen har en resistans, ett motstånd, mot avdunstning för att hushålla med vattnet.

Interceptionsavdunstning sker från vegetation, exempelvis löv och gräs då nederbörden samlas på bladytorna och den varierar kraftigt beroende på nederbördens fördelning i tiden. Om regnet är ihållande blir interceptionsavdunstningen mindre eftersom vegetationen endast kan hålla en begränsad mängd vatten. Vid regnskurar med solsken mellan skurarna kan den däremot bli betydande då vattnet på bladytorna avdunstar mellan nederbördstillfällena. Det är ofta svårt att veta från vilken källa det avdunstade vattnet kommer (Eriksson 1981). I fortsättningen används begreppet avdunstning som det gemensamma namnet för vattenångeflöde.

Potentiell avdunstning är ett uttryck som ofta används men som också fått mycket kritik (Eriksson 1981). Med potentiell avdunstning menas den mängd vatten som förbrukas av växterna till transpiration och evaporation om det finns optimal tillgång till vatten. I definitionen ligger att den potentiella avdunstningen sägs vara oberoende av jordart och växtslag och enbart bestämd av rådande väder. Den anses ej heller kunna överskrida avdunstningen från en öppen vattenyta (Eriksson, 1981). Dessa generaliseringar har visat sig mer eller mindre felaktiga. För beräkning av potentiell avdunstning finns många olika formler. En ofta använd är Penmans formel (1948) som tar hänsyn till strålnings- och vindfaktorer samt Penmans formel (1953) där även växtfysiologiska faktorer ingår. De växtfysiologiska faktorerna är dock svåra uppskatta. En förenklad formel för potentiell avdunstning är Priestley-Taylors (1971) formel där inga växtfysiologiska faktorer ingår. Priestley-Taylors formel har i gengäld en empirisk faktor som kräver kalibrering.

Avdunstningen på en plats beror på en mängd olika faktorer som t ex globalstrålning, vattentillgång i marken, nederbördens fördelning i tid och rum, lufttemperatur, marktemperatur, typ av växtlighet, luftfuktighet, vindhastighet och molnighet. Avdunstningen har i sig inget direkt beroende av höjden över havet men hos många av avdunstningens drivvariabler finns ett höjdberoende (Calder, 1990). Frågan är om de ingående variabelernas höjdberoende kan sammanfattas till ett höjdberoende hos avdunstningen. Temperaturen kan vid vissa tillfällen öka med höjden men i medeltal avtar den med höjden vilket leder till minskad tillgänglig energi för avdunstning. Transpirationen avtar på höga höjder då inga träd finns kvar. Dessa båda faktorer leder till ett avtagande av avdunstningen. Faktorer som bidrar till att öka avdunstningen är dels att nederbörden är större på hög höjd vilket gör att mer vatten finns att tillgå för avdunstning och dels att vindhastigheten ökar.

För att kunna beräkna flöden i ett vattendrag finns många olika teoretiska datormodeller. Två typer av teoretiska modeller utmärker sig, fysikaliskt grundade modeller och konceptuella eller empiriska modeller. Fysikaliskt grundade modeller beskriver ett område med hjälp av fysikaliska variabler såsom markens ledningsförmåga, markytans lutning, olika typer av växtlighet m m. Svårigheten är att de fysikaliska förhållandena är komplicerade att mäta och dessutom varierar inom ett begränsat område. I konceptuella modeller beskrivs området som en "svart låda" där endast indata och utdata är intressanta. Vad som sker inuti "lådan" uttalar man sig inte om. I konceptuella modeller används empiriska parametrar som kalibreras under en kalibreringsperiod där modellens beräknade vattenföring jämförs med den verkliga vattenföringen i vattendraget. Därefter används en oberoende tidsperiod där modellens beräknade vattenföring jämförs med den verkliga utan att parametrarna justeras ytterligare.

I Sverige används ofta HBV-modellen (Bergström 1976, Bergström 1992) för att prognosera flöden i vattendrag. HBV-modellen är en blandning av fysikalisk och konceptuell modell. Den utvecklades i början av 1970-talet vid SMHI och har sedan dess vidareutvecklats så att den nu finns i flera olika versioner såväl i Sverige som utomlands. Den används främst vid hydrologisk prognosering åt vattenkraftindustrin, för översvämningsvarningar till allmänheten och vid beräkning av dimensionerande flöden. Grundtanken vid utvecklingen av HBV-modellen var att den skulle kunna användas för så många avrinningsområden som möjligt i Sverige. Detta innebar att modellen skulle fungera med de indata som mäts vid vanliga klimatstationer i Sverige. Modellen skulle vara flexibel så att man utan alltför många justeringar skulle kunna använda modellen för ett nytt område (Bergström 1976). I HBV-modellen används standardmånadsmedelvärden på den potentiella avdunstningen beräknade med hjälp av Penmans formel (Wallén 1966, Eriksson 1981). Den potentiella avdunstningen är beräknad på en plats i närheten av avrinningsområdet och antas gälla över hela området.

Ett försök till förbättring av HBV-modellen gjordes av Andersson (1989) som införde månadsmedelvärden beräknade för individuella år. Dessutom testade hon två metoder att reducera den potentiella avdunstningen. I den första metoden infördes temperaturkorrektioner genom att månadsmedelvärdet en enskild dag reducerades om dygnsmedeltemperaturen understeg ett tröskelvärde. Med den andra metoden reducerades de beräknade värdena under våren med 60 % och de beräknade värdena i juni med 30 %. Införandet av temperaturkorrektionen ledde till en större förbättring av modellen om korrektionen användes tillsammans med standardmånadsmedelvärden än tillsammans med individuella års månadsmedelvärden. Förbättringen var dock marginell.

Ytterligare ett försök att förbättra HBV-modellens avdunsningsrutin har gjorts av Lindström & Bergström (1992). Dygnsmedeltemperaturen jämfördes med temperaturens långtidsmånadsmedelvärde och den potentiella avdunstningen korrigerades enligt:

$$\begin{aligned} PE_A &= (1 + C_T \cdot (T - T_M)) \cdot PE_M \\ 0 \leq PE_A &\leq 2 \cdot PE_M \end{aligned} \quad (1)$$

där

- C_T empirisk modellparameter
- PE_A verklig potentiell avdunstning
- PE_M potentiella avdunstningens långtidsmånadsmedelvärde
- T dygnsmedeltemperatur
- T_M temperaturens långtidsmånadsmedelvärde

Resultatet av att införa denna temperaturanomali i avdunsningsformuleringen blev en förbättring av förklarad varians i synnerhet efter kalla somrar.

3. MATERIAL OCH METODER

3.1 Den verkliga avdunstningens höjdberoende i svenska fjällområden

3.1.1 Områdesbeskrivning

Avdunstningen beräknades för avrinningsområden i de västligaste delarna av Ljusnan, Indalsälven och Luleälven, data över områdena finns i bilaga 3. Ljusnans västligaste delar ligger i Jämtlands län på ca 62,5° nordlig latitud. Här undersöktes 14 avrinningsområden vars storlek varierade från 2,8 till 5830 km². Medelhöjden varierade mellan 600 och 950 m ö h. Indalsälvens 12 undersökta delar ligger i Jämtlands län på ca 64° nordlig latitud. Arealen varierade från 79 till 1574 km² och medelhöjden mellan 580 och 885 m ö h. Luleälvens västligaste delar ligger i Norrbottens län ca 68° nordlig latitud. I Luleälven undersöktes 12 områden. Arealen varierade mellan 188 och 4988 km² och medelhöjden från 647 till 1060 m ö h.

Data över medelhöjder togs antingen från tabell (SMHI, 1970) eller från HBV-modellens områdesdata. Områden där uppgift över medelhöjd saknas ritades in på en karta och medelhöjden beräknades som medelvärde av höjden i ett antal punkter jämnt fördelade över området.

3.1.2 Vattenbalansmetoden

Avdunstningen beräknades som en restterm ur vattenbalansekvationen:

$$E = P - Q - S \quad (2)$$

där

E	avdunstning
P	nederbörd
Q	vattenföring
S	magasinerings

Beräkningen gjordes med långtidsmedelvärden för perioden 1961-90 så magasineringstermen kunde försummas.

Nederbördsberäkningen utfördes genom att använda referensnormaler för perioden 1961-1990 (Alexandersson, Karlström & Larsson-McCann, 1991). Korrektioner av årsnederbörden gjordes enligt Eriksson (1983) (bilaga 1). Dessa korrektioner tar hänsyn till vätningsförluster, avdunstningsförluster och vindförluster. Vindförlusterna är speciellt stora i fjällen.

Arealmedelnederbörden över ett avrinningsområde beräknades genom att nederbördsstationerna i och omkring området viktades med Thiessenpolygoner (bilaga 2). För de områden där stationsvikter fanns tillgängliga som parametervärden till HBV-modellen användes dessa.

Ett problem vid beräkning av årsmedelnederbörd i fjälltrakter är att mätarna företrädesvis finns i dalgångarna. Avrinningsområdets medelhöjd är oftast högre än medelhöjden för nederbördsstationerna. Därför korrigerades nederbörden för höjden. Nederbördsstationernas medelhöjd beräknades genom att vikta nederbördsstationernas höjder på samma sätt som stationernas nederbörd. Höjdkorrektionerna som användes är beräknade av Alexandersson (personlig kontakt, 1993) på SMHI. Alexandersson har studerat hur uppmätta nederbördsmängder varierar mellan mätare på olika höjd och sedan beräknat höjdkorrektioner

med linjär regression för flera regioner i Sverige. Den korrigerade nederbörden beräknades enligt:

$$P_{\text{korrr}} = P \cdot \left(1 + \frac{k}{100}\right) \cdot (h_{\text{medel}} - h_P) \quad (3)$$

där

h_{medel} avrinningsområdets medelhöjd (m)

h_P nederbördsstationernas medelhöjd (m)

k höjdkorrektion (% / m)

P_{korrr} höjdkorrigerad nederbörd (mm/år)

P nederbörd (korrigerad för vind-, vätnings- och avdunstningsförluster) (mm/år)

För *vattenföringsberäkningen* utnyttjades huvudsakligen vattenföringsdata från SVAR (Svenskt vattenarkiv, SMHI). I vissa fall användes vattenföringsdata från kraftbolag, som fanns tillgängliga i tillämpningar av HBV-modellen. Flera av de använda vattenföringsvärdena var endast uppmätta för en del av perioden 1961-90. I dessa fall gjordes korrekationer för att få representativa 30-årsmedelvärden. Ett närliggande område med en fullständig vattenföringsserie användes som referens och medelvattenföringen beräknades enligt:

$$Q_{\text{medel}(61-90)} = Q_{\text{medel}(x1-x2)} \cdot \frac{Q_{\text{medel, ref. område (61-90)}}}{Q_{\text{medel, ref. område (x1-x2)}}} \quad (4)$$

där

$x1-x2$ var den period för vilken vattenföringsdata fanns tillgängliga.

Då avdunstningen beräknats för alla områden beräknades avdunstningens höjdberoende m h a linjär regression. Signifikantest gjordes enligt t-fördelning att höjdberoendet var skilt från 0. För alla älvar gjordes dessutom ett test av höjdberoendets känslighet för nederbördens höjdkorrektion. Alexanderssons beräknade höjdkorrektioner justerades med $\pm 20\%$, $\pm 50\%$ och $\pm 100\%$. Exempelvis för Övre Särvsjön i Ljusnan är höjdkorrektionen enligt Alexandersson 7,9 %/100 m. Höjdkorrektionen ändrades då till 0; 3,9; 6,3; 9,4; 11,8 resp. 15,7 %/100 m. För varje ändring beräknades avdunstningens höjdberoende med linjär regression. Som ett mått på känsligheten i beräkningen av avdunstningens höjdberoende beräknades:

$$\text{Känslighet} = \left| \frac{\text{Lutning}(100\%) - \text{Lutning}(-100\%)}{\text{Lutning}(0\%)} \right| \quad (5)$$

3.2 Den potentiella avdunstningens höjdberoende i svenska fjälltrakter

3.2.1 Penmans formel

Den potentiella avdunstningen finns beräknad på ett antal plaser i Sverige enligt Penmans formel (1948) (Eriksson 1981). De beräknade värdena på den potentiella avdunstningen i fjällen plottades mot platsens höjd över havet för att undersöka om ett höjdberoende existerade. Höjdberoendet hos avdunstningen beräknades även här med linjär regression.

3.2.2 Priesley-Taylors formel

Priestley-Taylors (1971) ekvation beskrivs av:

$$EP = \alpha \cdot \frac{s}{s + \gamma} \cdot (R_n - S) \quad (6)$$

där

EP potentiell avdunstning (W/m^2)

s mätnadsångtryckskurvans lutning vid lufttemperatur ($kPa/grad$)

$$s = \frac{\partial e_s}{\partial T} = \frac{b-c}{(c+T)^2} e_s(T) \quad (7)$$

$$e_s(T) = a \cdot e^{\frac{bT}{c+T}}$$

där

a 0,61078

b 17,269

c 237,30

e_s mätnadsångtryck (kPa)

T lufttemperatur ($^{\circ}C$)

R_n nettostrålning (W/m^2)

S markvärmefflöde (W/m^2)

α empirisk konstant

γ psykrometer"konstanten" ca 66 Pa/grad

Markvärmefflödet sattes till noll. Konstanten α bestämdes genom kalibrering av HBV-modellen.

På nettostrålningen finns inga värden uppmätta. Nettostrålningen är inte heller konstant med höjden utan beror bl.a. av lufttemperaturen. Den nedåtriktade globalstrålningen mäts regelbundet inom ramen för SMHIs observationsnät på några få platser i Sverige. För att bestämma nettostrålningen varje dag utnyttjades:

$$R_n = G_{in} \cdot (1 - a) + (L_{in} - L_{ut}) \quad (8)$$

där

- a jordytans albedo d.v.s. reflektionskoefficienten för kortvågsstrålning
 G_{in} inkommande globalstrålning (W/m^2)
 L_{in} inkommande långvågsstrålning (W/m^2)
 L_{ut} utgående långvågsstrålning (W/m^2)
 R_n nettostrålning (W/m^2)

Såväl inkommande som utgående långvågsstrålning följer Stefan-Boltzmanns lag för svartkroppsstrålning:

$$L = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (9)$$

där

- ε kroppens emissivitet
 σ Stefan-Boltzmanns konstant = $5,67 \cdot 10^{-8} W/(m^2 K^4)$
 L långvågsstrålning (W/m^2)
 T temperatur (K)

Långvågsnettot blir om man antar att jordytetemperaturen är lika med lufttemperaturen:

$$L_{netto} = (\varepsilon_a - \varepsilon_e) \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (10)$$

där

- ε_a atmosfärens emissivitet
 ε_e jordytans emissivitet

$\varepsilon_e = 0,97$ antogs gälla för jordytan (Campbell, 1977). Atmosfärens emissivitet beräknades först för molnfria förhållanden (Campbell, 1977):

$$\varepsilon_a = 0,72 + 0,005 \cdot T_a \quad (11)$$

där

- T_a temperatur ($^{\circ}C$) $T_a > 0$

Beräkningen av emissiviteten för molniga förhållanden (ε_{Ac}) gjordes enligt Campbell (1977):

$$\varepsilon_{Ac} = \varepsilon_A + C \cdot \left(1 - \varepsilon_A - \frac{4 \cdot \Delta T}{T_a} \right) \quad (12)$$

där

- C molnighet (0 = mulen dag, 1 = klar dag)
 ΔT temperaturskillnaden mellan T_a och temperatur en vid molnbasen.
 ΔT sattes till 2 K (Campbell, 1977)

Molnigheten beräknades genom att utnyttja globalstrålningsdata på följande sätt:

$$C = \frac{G}{G_{\max}} \quad (13)$$

där

- C molnighet (0=mulen dag, 1=klar dag)
 $G_{\max}$ maximalt möjlig globalstrålning en viss dag (W/m^2)
 G verklig globalstrålning en viss dag (W/m^2)

Uppmätt globalstrålning under flera år uppritades mot dagnumret i ett diagram. En sinuskurva anpassades därefter till toppvärdena i detta diagram. Denna sinuskurva antogs representera $G_{\max}$. Den beräknade molnigheten antogs gälla över hela avrinningsområdet och lades in som drivdata i HBV-modellen.

3.2.3 Ingående komponenters höjdberoende

För att få avdunstningen, beräknad med Priestley-Taylors formel, att variera realistiskt med höjden lades ett höjdberoende in för de ingående komponenterna. *Albedot* sattes till 0,25 för öppen mark och 0,1 för skog. Trädgränsen ansågs ligga på 800 m ö h. och sålunda användes albedot för öppen mark på höjdzoner över denna höjd. Vid beräkningen av långvågsstrålningsnettot utnyttjades HBV-modellens *temperaturavtagande med höjden*. Beräkningen av *globalstrålningens* avtagande med höjden grundades på Walléns (1966) karta med isolinjer över globalstrålningens variation i Sverige under ett år. I Östersund var globalstrålningen ca $80 \text{ kcal/cm}^2 = 106 \text{ W/m}^2$ och i Torrön ca $73 \text{ kcal/cm}^2 = 97 \text{ W/m}^2$. Torröns medelhöjd är 644 m ö h medan Östersund ligger på 325 m ö h. Dessa värden leder till att globalstrålningens avtagande med höjden är approximativt 3 %/100 m. Den så kallade *psykrometerkonstanten* är ingen konstant utan en praktiskt användbar parameter beräknad enligt (Rosenberg 1983):

$$\gamma = \frac{p \cdot c_p}{L \cdot \frac{M_w}{M_a}} \quad (14)$$

där

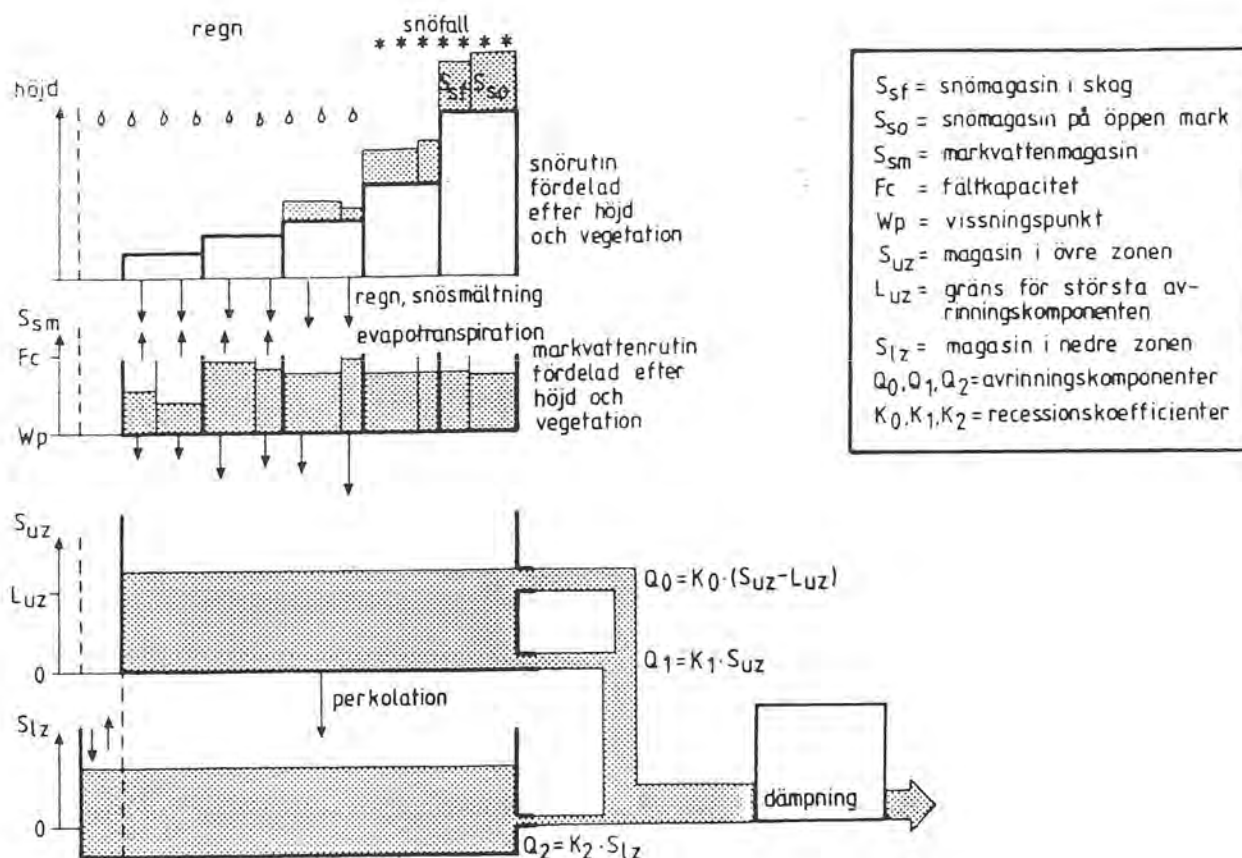
- p lufttryck (Pa)
 c_p luftens specifika värme vid konstant tryck (J/(kg grad))
 L ångbildningsvärme för vatten (J/kg)
 M_w vattenångas molmassa
 M_a luftens molmassa

Lufttrycket antogs sjunka med 1 mbar/8 m (Liljequist, 1970). Ångbildningsvärmets beräknades som $2,5008 \cdot 10^6 \cdot (1 - 9,425 \cdot 10^{-4} \cdot T)$ (Halldin, muntligt besked 1993). Temperaturavtagandet med höjden antogs 0,6 °/100 m. Värmekapaciteten för medelfuktig luft vid konstant tryck antogs konstant 1011 J/kg (Halldin, muntligt besked 1993). Kvoten $M_w/M_a = 0,622$ (Rosenberg 1983). Dessa faktorer sammantagna ledde till ett avtagande med 1,3 %/100 m för psykrometerkonstanten.

3.3 HBV-modellens struktur

HBV-modellen är uppbyggd i tre huvuddelar, en snörutin, en markrutin, och en flödesrutin (figur 2) (Bergström, 1976).

3.3.1 Struktur

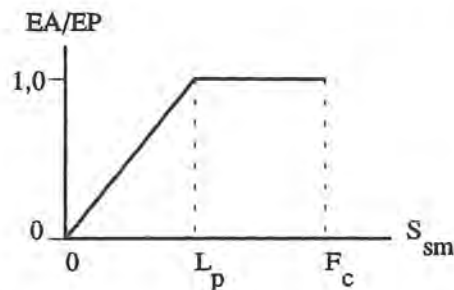


Figur 2: Schematisk skiss av HBV-modellens struktur (Bergström 1992)

I *snörutinen* bestäms om nederbörden som faller är i form av snö eller regn. Nederbörden uppfattas som snö om temperaturen överstiger en tröskeltemperatur. Nederbörden multipliceras med en viss korrektionsfaktor vid snöfall och en annan vid regn. Tröskeltemperaturen används också för att bestämma om snösmältning sker. Vid snösmältningen finns en parameter som anger hur mycket snö som smälter vid en viss temperatur och en som anger hur stor återfrysning som sker. I rutinen sker korrektion för nederbörd som faller på hög höjd. Topografin i ett område beskrivs genom att området delas upp i lika stora delytor och medelhöjden för varje delyta anges i en parameterfil. Då nederbördsräkningen sker på lägre höjder korrigeras nederbörden i de högt belägna områdena. Nederbördens ökning med höjden ges av en parameter som anger ökningen i % per 100 m (benämns PCALT). En annan parameter bestämmer temperaturens höjdberoende. Ofta används värdet 0,6 °C/100 m (Bergström, 1976). Temperaturavtagandet utnyttjas vid beräkning av snösmältningen.

I *markrutinen* simuleras markfuktigheten på varje delhöjd i området. Vid beräkning av hur stort tillskott till avrinningen en viss nederbördsmängd ger utnyttjar man att en större andel av nederbörden bidrar till avrinningen om marken är våt än om den är torr. En parameter beskriver maximalt vatteninnehåll i marken. Om denna mängd uppnås bidrar all nederbörd till avrinning. Värdet på denna parameter kan tolkas som ett index på markfuktigheten men har ingen exakt fysikalisk innebörd.

I HBV-modellen beror den verkliga avdunstningen på den potentiella avdunstningen och markvattenhalten. Maximalt möjlig avdunstning är den potentiella avdunstning som sker om det finns tillräcklig vattenmängd. Om marken är torr justeras värdet på den verkliga avdunstningen ner proportionellt i förhållande till markvattenhalten (figur 3).



Figur 3: Sambandet mellan verklig avdunstning (EA) och potentiell avdunstning (EP) i HBV-modellen vid olika markfuktighet. (S_{sm}). F_c maximalt vatteninnehåll, L_p gräns för potentiell avdunstning

I *flödesrutinen* simuleras avrinningen från ett område. Detta görs med två magasin. I övre magasinet beskrivs ytvattnet och det ytliga grundvattnet. Det nedre magasinet representerar grundvattnet i området. Perkolationen bestämmer hur fort grundvattenmagasinet fylls på. I magasinerna simuleras flodvågen (responsfunktionen) i ett vattendrag efter ett nederbördstillfälle. Rutinen beskriver ett flödes dämpning genom magasinering i grundvattenakviferer, sjöar och vattendrag. Parametern K_0 har störst betydelse för det beräknade flödets toppvärde. Q_0 som beskriver flodvågstoppen rinner av då markvatteninnehållet (S_{uz}) i övre magasinet överstiger ett gränsvärde (L_{uz}). Q_2 i det nedre magasinet bidrar främst till basflödet i vattendraget d.v.s. flödet i ett vattendrag mellan nederbördstillfällena.

I modellen beräknas förklarad varians (R^2) som ett mått på modellens anpassning. R^2 beräknas enligt:

$$R^2 = \frac{\sum(\bar{Q}_0 - Q_0)^2 - \sum(Q_c - Q_0)^2}{\sum(\bar{Q}_0 - Q_0)^2} \quad (15)$$

där

$\bar{Q}_0$ = medelvärde av observerad vattenföring

Q_0 = observerad vattenföring

Q_c = beräknad vattenföring

Om det simulerade flödet överensstämmer perfekt med det observerade flödet är $R^2 = 1$. Om det simulerade flödet inte stämmer bättre med det observerade än medelvärde är $R^2 = 0$. R^2 kan även bli negativ om modellens överensstämmelse är riktigt dålig. Beteckningen R^2 skall ej förväxlas med förklaringsgraden (korrelationskoefficienten) R^2 som bara kan variera mellan 0 och 1. Ett annat kriterium på modellens anpassning är volymfelet som är den totala skillnaden i vattenmängd under en period mellan simulerat flöde och verkligt flöde. Dessa båda objektiva kriterier kan ibland behöva kompletteras med visuella bedömningar.

3.3.2 Indata till HBV-modellen

De indata som krävs för att använda HBV-modellen är nederbörd, temperatur och standardvärden för potentiell avdunstning. Dessutom krävs en period med observerade vattenföringsdata för modellens kalibrering.

3.4 Modifiering av HBV-modellen

3.4.1 Explicit införande av höjdberoende hos den potentiella avdunstningen

HBV-modellen modifierades genom att en parameter kallad EVPCALT infördes som angav avdunstningens beroende av höjden i mm/100 m och år. Den potentiella avdunstningen beräknades då enligt:

$$EP(h) = EP(h_0) \cdot \left(1 - (h - h_0) \cdot \frac{EVPCALT/100}{EP_{\text{år}}} \right) \quad (16)$$

där

h	höjd på varje höjdzon i HBV-modellen (m)
h_0	höjd på vilken avdunstningen är beräknad i grundversionen av HBV-modellen (m)
$EP(h)$	potentiell avdunstning på höjden h (mm)
$EP_{\text{år}}$	total potentiell avdunstning under ett år (mm/år)
EVPCALT	avdunstningens höjdberoende (mm/100 m och år)

Eftersom avdunstningen minskas med höjden i den modifierade modellen omkalibrerades även parametern som styr nederbördens höjdberoende (PCALT)

3.4.2 Val av områden och simulerad tidsperiod

Då höjdkorrektionen lagts in explicit i HBV-modellen simulerades avrinningen i Kultsjön, Torrön och Ljusnedal (figur 4). Perioden 710101-811231 utnyttjades som kalibreringsperiod och perioden 820101-891231 som kontrollperiod. Vid kalibreringen justerades höjdberoendet hos nederbörden tills högsta R^2 och minsta volymfel uppnåddes. Under kontrollperioden jämfördes den ordinarie HBV-modellen med den modifierade HBV-modellen utan att någon ytterligare kalibrering skedde.

4. RESULTAT

4.1 Den verkliga avdunstningens höjdberoende

Det samlade resultatet av avdunstningsberäkningar med vattenbalansmetoden finns i tabell 1.

Tabell 1: Avdunstningens avtagande med höjden i tre svenska fjällområden beräknat med vattenbalansmetoden för perioden 1961-90. Signifikansnivån avser signifikansen att avdunstningens höjdberoende är skilt från 0

Område	Avdunstningens höjdberoende (mm/ 100 m och år)	sign. nivå (%)
Ljusnan	-24	95
Indalsälven	-54	97,5
Luleälven	-48	80

Avrinningen och nederbörden i Ljusnan fick ett tydligt höjdberoende (figur 5) på alla avrinningsområden med undantag av Sveg (602 m ö h.). Svegs specifika avrinning är betydligt högre än förväntat vilket leder till att avdunstningen blir låg. Resultatet blev, undantaget Sveg, att avdunstningen avtar med 24 mm/100 m. För områdena i Indalsälven blev resultatet delvis annorlunda (figur 6). Indalsälvens nederbörd och specifika avrinning saknade höjdberoende men trots detta fick avdunstningen ett höjdberoende på -54 mm/100 m. I Luleälvens avrinningsområden (figur 7) kan inget klart samband med höjden över havet ses varken hos nederbörden eller avrinningen. Avdunstningen fick ett höjdberoende men resultatet av beräkningen blev negativ avdunstning (kondensation) i flera områden. Trots detta avtog avdunstningen med 48 mm/100 m och år.

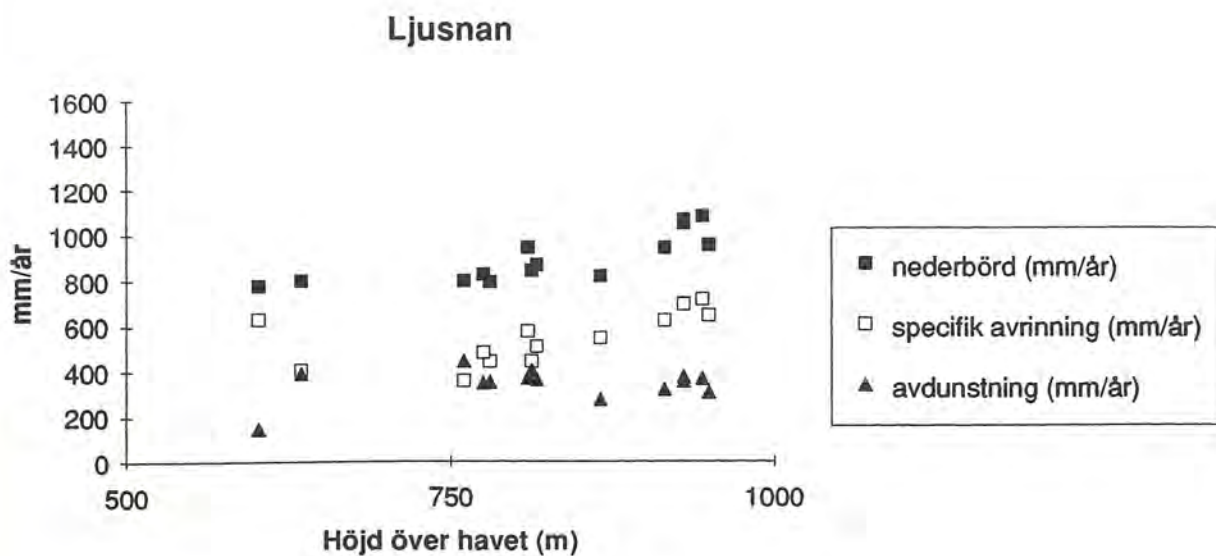
Tabell 2: Avdunstningens höjdberoende (mm/100 m och år) vid olika höjdkorrekationer för nederbörden

Område	Procentuell förändring av nederbördens höjdkorrektion						
	-100%	-50%	-20%	0	20%	50%	100%
Ljusnan	-40	-32	-27	-24	-20	-15	-6
Indalsälven	-90	-72	-61	-54	-46	-36	-18
Luleälven	--105	-76	-59	-48	-37	-19	8

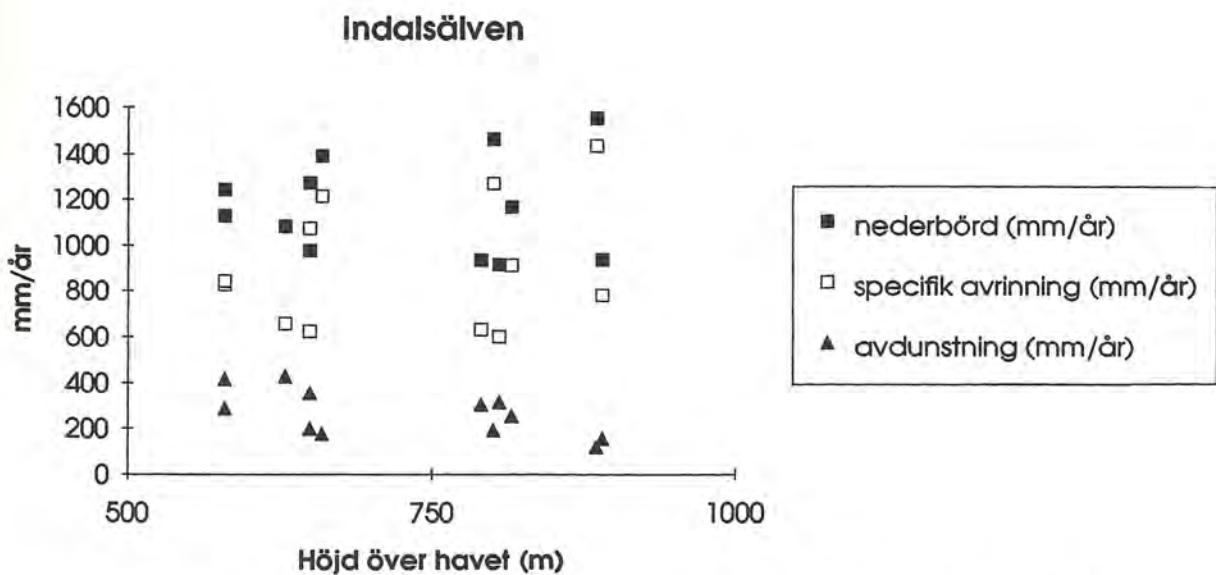
Tabell 3: Känsligheten i avdunstningens höjdberoende orsakad av antaganden om nederbördens höjdberoende

Område	Känslighet (%)
Ljusnan	166
Indalsälven	133
Luleälven	235

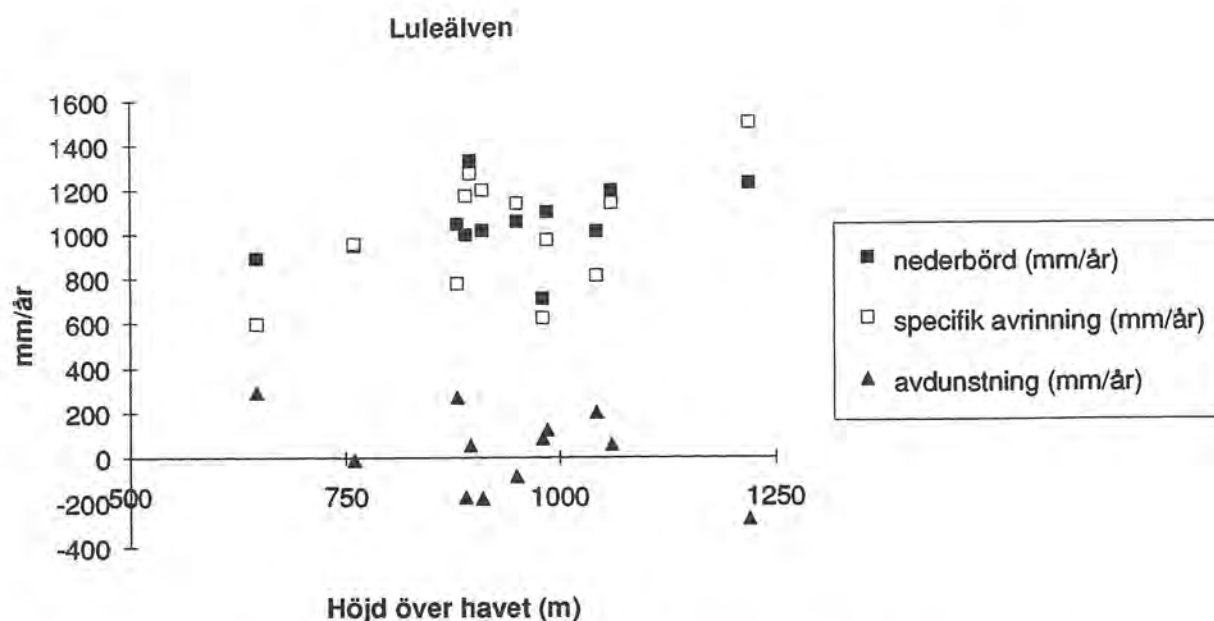
Höjdberoendet varierar kraftigt vid förändring av nederbördens höjdkorrekationer (tabell 2). Tendensen är dock att endast om höjdkorrekationerna är kraftigt underskattade försvinner höjdberoendet. Känsligast för höjdkorrekationerna var avdunstningen i Luleälven (tabell 3). Totalt varierade höjdberoendet mellan -105 mm/ 100 m och år och +8 mm/100 m och år.



Figur 5: Nederbördens, specifika avrinningens och avdunstningens beroende av höjden för avrinningsområden på hög höjd i Ljusnan



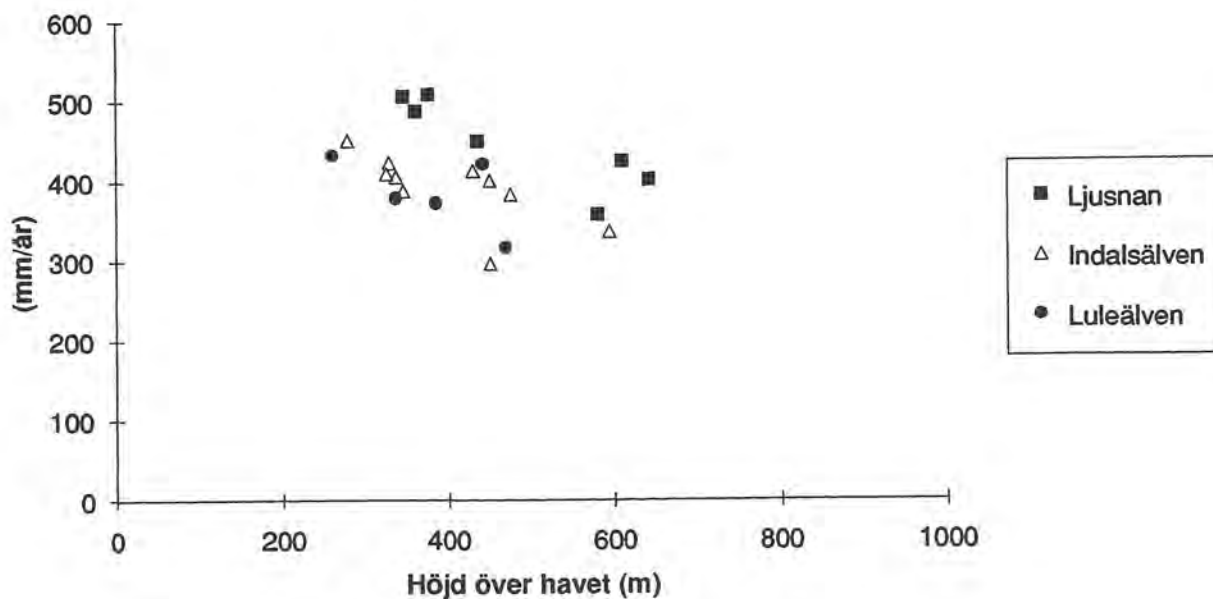
Figur 6: Nederbördens, specifika avrinningens och avdunstningens beroende av höjden för avrinningsområden på hög höjd i Indalsälven



Figur 7: Nederbördens, specifika avrinningens och avdunstningens beroende av höjden för avrinningsområden på hög höjd i Luleälven

4.2 Den potentiella avdunstningens höjdberoende

Vid analysen av Erikssons (1981) beräknade värden visade det sig att ett höjdberoende kan ses om man jämför den potentiella avdunstningen på platser på ungefär samma latitud (figur 8). Generellt ser man att avdunstningen avtar norrut i Sverige. Ljusnan har störst avdunstning och Luleälven minst. Beräkning av lutning med linjär regression ledde till resultatet att den varierade mellan -32 mm/100 m och år till -39 mm/100 m och år (tabell 4)



Figur 8: Den potentiella avdunstningen beräknad enligt Penmans formel (Eriksson 1981) och plottad mot platsens höjd över havet

Tabell 4: Den potentiella avdunstningens avtagande med höjden bestämt ur avdunstnings-beräkningar för olika platser i Sverige enligt Penmans formel (Eriksson 1981)

Område	Avdunstningens höjdberoende (mm/100 m och år)	sign. nivå (%)
Ljusnan	-39	99,5
Indalsälven	-32	97,5
Luleälven	-33	80

4.3 Simuleringar med HBV-modellen

4.3.1 Explicit införande av höjdberoende hos avdunstningen

Jämfört med HBV-modellen i standardutförande gav endast simuleringen för Kultsjöns avrinningsområde en förbättring av R^2 om avdunstningens höjdberoende lades in explicit. R^2 ökade från 0,814 till 0,827 för den oberoende perioden. För Torröns avrinningsområde minskade R^2 från 0,809 till 0,786. Även i Ljusnedalsområdet blev resultatet en försämring. R^2 minskade från 0,803 till 0,771.

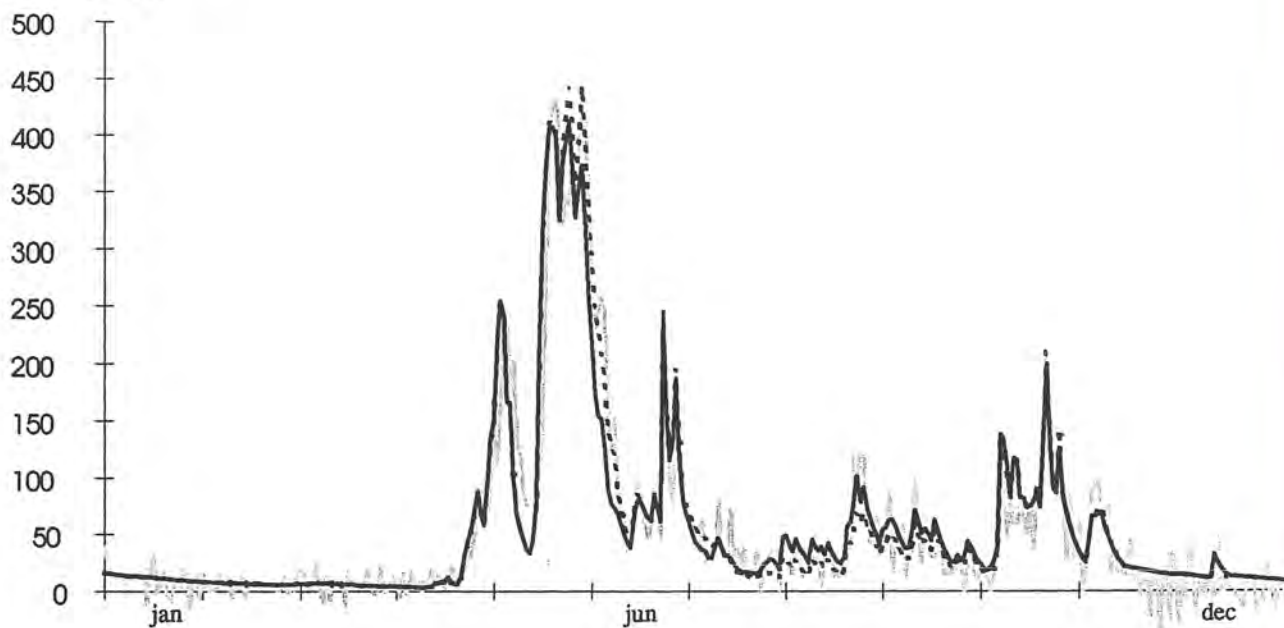
Tabell 5: Resultat av simulering med HBV-modellen .

Försök II: Avdunstningen i HBV-modellen minskas med 30 mm/100 m och år

Område	Version av HBV-modellen	PCALT (%/ 100 m)	710101-811231 Kalibreringsperiod		820101-891231 Oberoende period	
			R^2	volymfel	R^2	volymfel
				(mm)		(mm)
Kultsjön	Standardmodell	18	0,847	-230	0,814	110
	Försök II	11	0,849	2,3	0,827	231
Torrön	Standardmodell	18	0,831	118,8	0,809	287
	Försök II	13	0,808	168	0,786	285
Ljusnedal	Standardmodell	14	0,832	-129,9	0,803	115
	Försök II	6	0,78	236	0,771	429

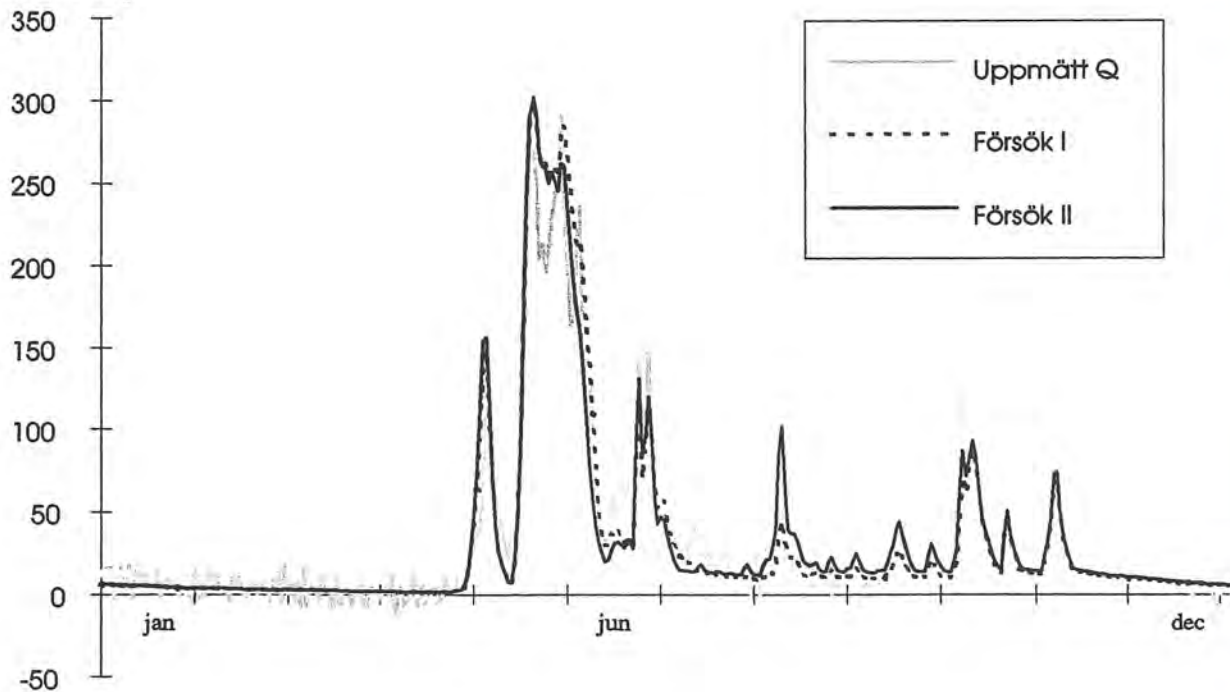
Resultatet av simuleringen för några enskilda år plottades i diagram (figur 9, 10 och 11). Plottningar av simulerad och verklig vattenföring för 1984 visar att vårfloden avtar tidigare samt att flödestopparna i augusti och september blir större då modellen modifierats enligt försök II.

Vattenföring

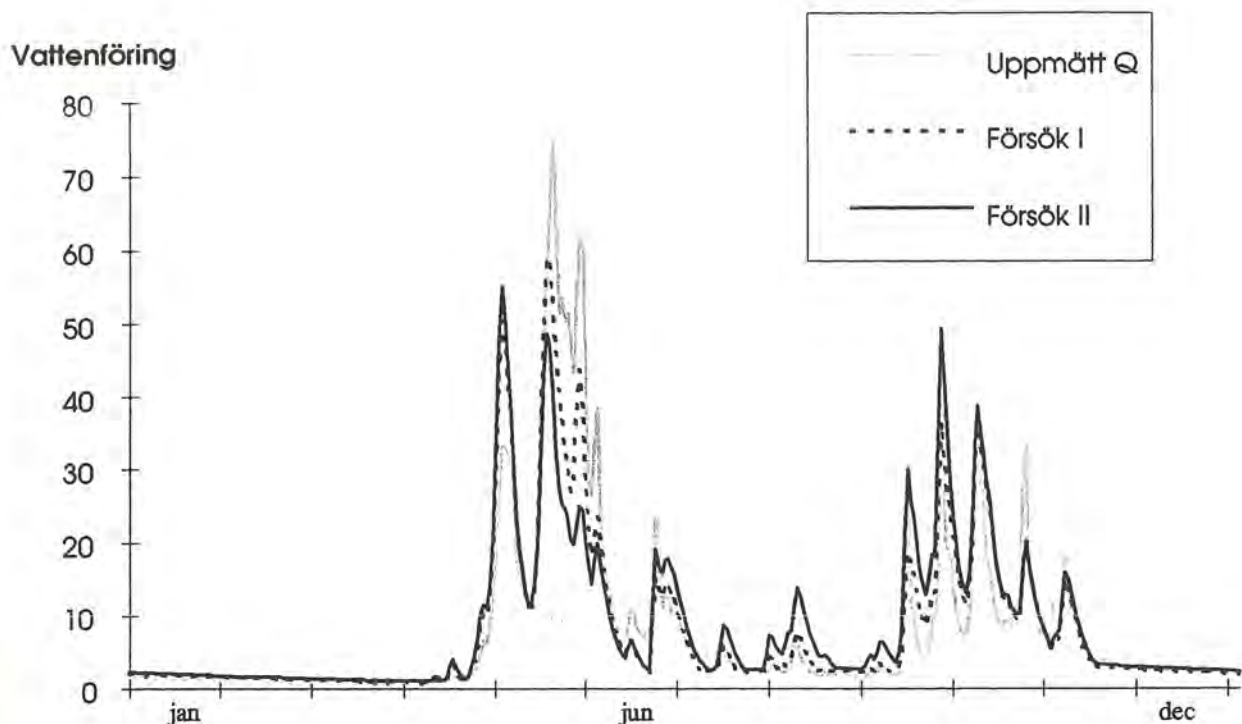


Figur 9: Resultat av simulering med standard HBV-modellen (Försök I) och avdunstningens höjdberoende inlagt explicit i modellen (Försök II) för Kultsjöns avrinningsområde år 1984.

Vattenföring



Figur 10: Resultat av simulering med standard HBV-modellen (Försök I) och avdunstningens höjdberoende inlagt explicit i modellen (Försök II) för Torröns avrinningsområde år 1984.



Figur 11: Resultat av simulering med standard HBV-modellen (Försök I) och avdunstningens höjdberoende inlagt explicit i modellen (Försök II) för Ljusnedals avrinningsområde år 1984.

4.3.2 Införande av avdunstningsberäkningar enligt Priestley-Taylors formel

Anpassningen av maximala globalinstrålningen till en sinuskurva ledde till resultatet:

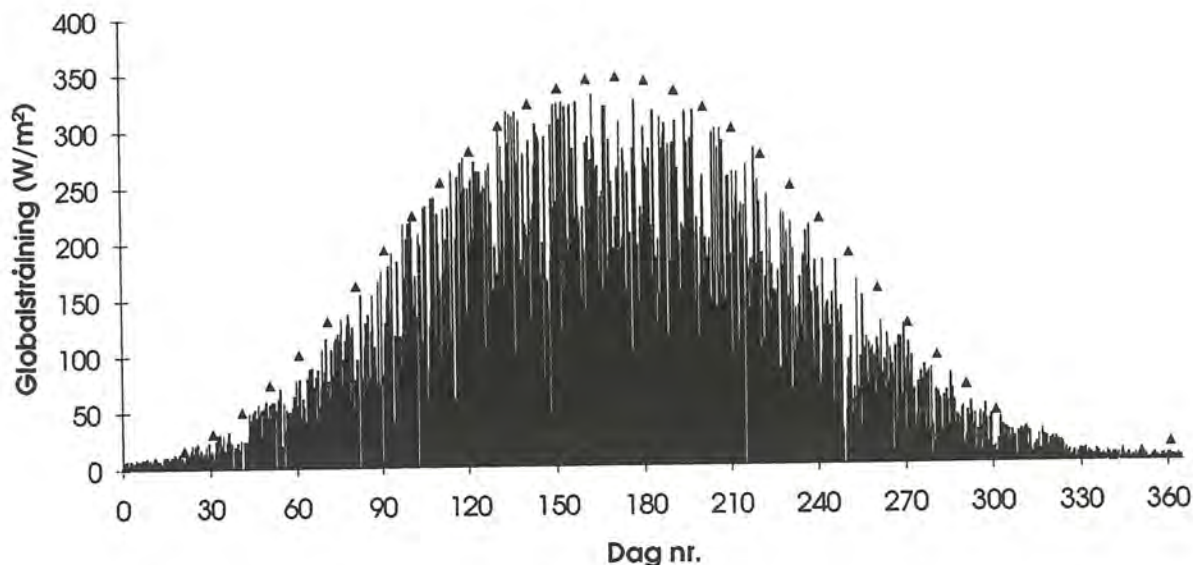
$$\text{Östersund:} \quad G_{\max} = 171 \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot d}{170} - \frac{\pi}{2}\right) + 175 \quad (\text{W/m}^2)$$

$$\text{Kultsjön:} \quad G_{\max} = 175 \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot d}{156} - \frac{\pi}{1,7}\right) + 179 \quad (\text{W/m}^2)$$

där

d=dagens nummer. 1= 1 januari, 2= 2 januari o.s.v.

Anpassningen blev mycket dålig i slutet och i början av året (figur 12) vilket leder till fullständigt felaktig molnighetsberäkning. I detta fall saknar det betydelse eftersom det i Torrön och Kultsjön alltid är snötäckt under denna period och då HBV-modellen automatiskt sätter avdunstningen till noll om det finns ett snötäcke.



Figur 12: Anpassning av sinuskurva till uppmätta globalstrålningsdata i Östersund

Tabell 6: Resultat av simulering med HBV-modellen.

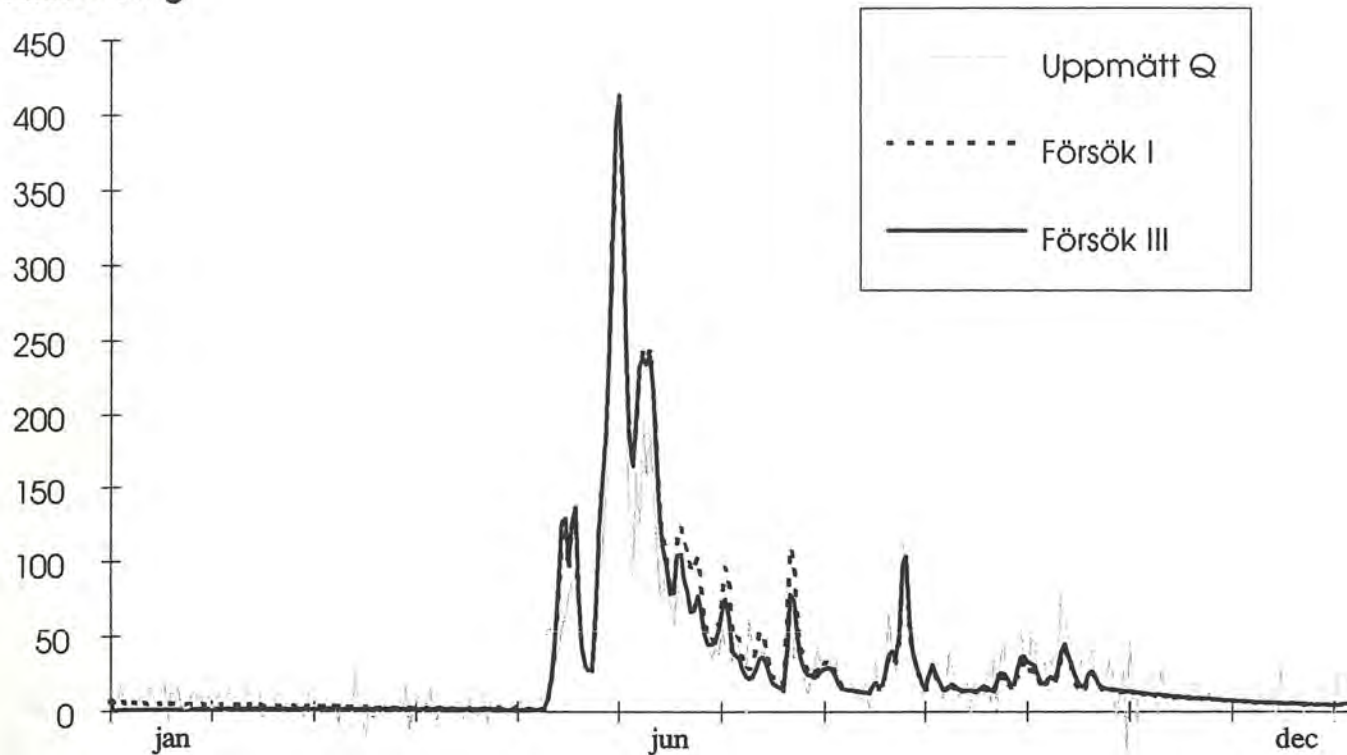
Försök III: Den potentiella avdunstningen beräknades enligt Priestley-Taylors formel

Område	Version av HBV-modellen	α	PCALT	830101-871231		880101-911231	
				Kalibreringsperiod		Oberoende period	
				R ²	volymfel	R ²	volymfel
			(% /100 m)		(mm)		(mm)
Kultsjön	Standardmodell		18	0,869	-131	0,669	69,8
	Försök III	0,7	16	0,871	-27	0,688	57,6
Torrön	Standardmodell		18	0,815	149	0,719	-177
	Försök III	1,2	18	0,806	108	0,709	-304

Vid införandet av höjdberoende hos ingående variabler blev resultatet att den potentiella avdunstningen avtog med 40 mm/ 100 m och år i Torrön och 23 mm/100 m och år i Kultsjön.

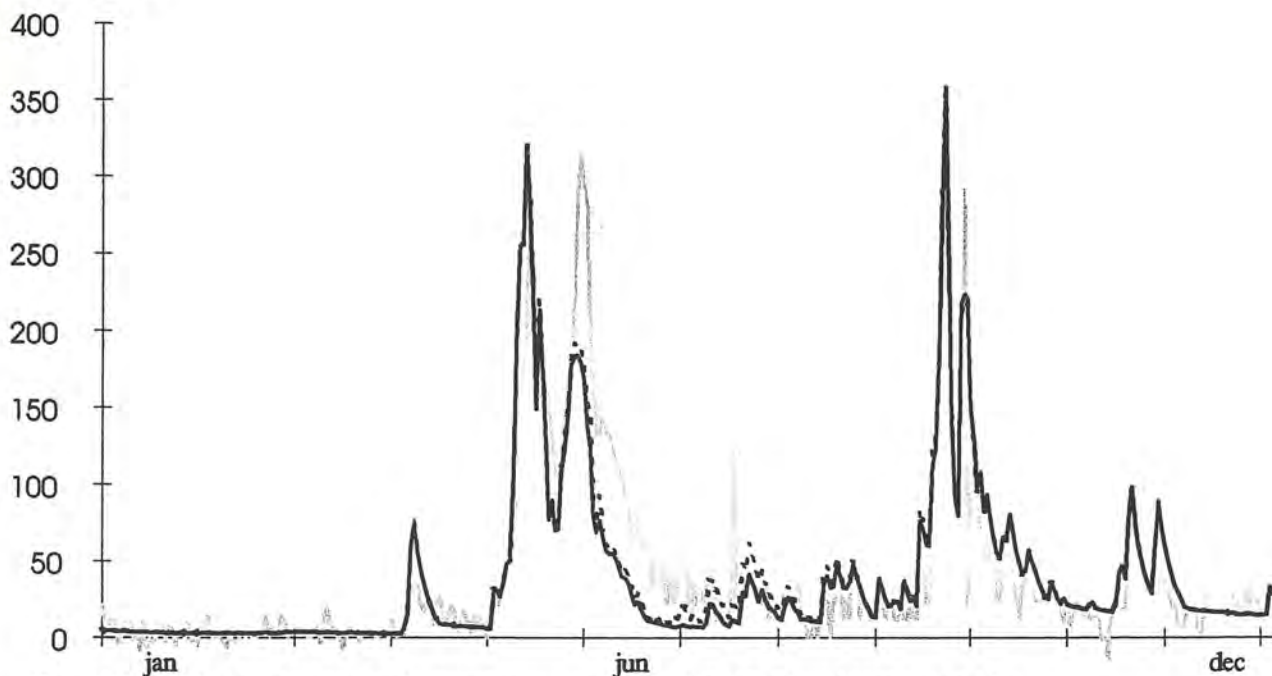
R² ökade från 0,669 till 0,689 vid beräkning av avdunstningen med Priestley-Taylors formel i Kultsjöns avrinningsområde (tabell 6). För Torrön blev resultatet en försämring. R² avtog från 0,719 till 0,709. Plottningen av resultatet (figur 13, 14) visar att vårfloden avtog tidigare vid beräkningar av avdunstningen enligt Priestley-Taylors formel samt att flödestopparna under sommaren blev något mindre än om man använder HBV-modellen i standardutförande. Skillnaderna blev dock inte speciellt stora.

Vattenföring



Figur 13: Resultat av simulering för Kultsjöns avrinningsområde 1988 med HBV-modellen i standardutförande (Försök I) jämfört med om avdunstningen beräknas med Priestley-Taylors formel (Försök III).

Vattenföring



Figur 14: Resultat av simulering för Torröns avrinningsområde 1988 med HBV-modellen i standardutförande (Försök I) jämfört med om avdunstningen beräknas med Priestley-Taylors formel (Försök III).

5. DISKUSSION

Vid beräkning av avdunstning som en restterm varierade resultatet något för de tre älvarna. Osäkerheten är naturligtvis stor vid beräkningen av höjdberoendet främst till följd av osäkerheten i nederbördsmätningen.

Beräkningen för Sveg (602 m ö h) ledde till mycket liten avdunstning. Orsaken till detta var den onormalt höga specifika avrinningen i Sveg vilket antingen beror på att avrinningsområdets area eller värdet på medelvattenföringen är felaktig. Arean är tagen från existerande datafil till HBV-modellen. Vattenföringen är indirekt uppmätt genom att vattenregleringsföretaget mätt sin elproduktion och ur bland annat turbinernas verkningsgrad beräknat vattenföringen. Om turbinernas verkningsgrad underskattats leder det till ett för högt värde på vattenföringen.

För avrinningsområdena i Indalsälven varierade nederbörden kraftigt även på platser med samma höjd. Vissa avrinningsområden låg tydligen mer i regnskugga än andra. Ljusnans och Indalsälvens avrinningsområden var alltså inte helt lika vad gäller klimat trots att de ligger nära varandra. Trots att nederbörden och specifika avrinningen saknade höjdberoende visade ändå avdunstningen ett tydligt avtagande med höjden.

Beräkningarna för avrinningsområdena i Luleälven gav ett negativt resultat (kondensation) i flera områden. Detta är möjligt under en kort tidsperiod men knappast över ett helt år (Eriksson 1981). Troligtvis har nederbörden underskattats på grund av de fåtaliga mätarna som finns i områdena. Även nederbördens höjdkorrekktioner var en osäkerhetsfaktor.

Känslighetsanalysen visade att höjdberoendet är känsligt för nederbördens höjdkorrekktion. Analysen visade dock att avdunstningen avtog med höjden i de flesta fall. Endast om höjdkorrekktionen var kraftigt underskattad ökade avdunstningen med höjden.

Beräkningen av höjdberoendet hos den potentiella avdunstningen ledde också till ett avtagande av avdunstningen med höjden. Variationen i avtagandet mellan platserna i de olika älvarna var inte lika stor som för den verkliga avdunstningen. Storleksordningen på avdunstningens höjdberoende var densamma både för verklig och potentiell avdunstning. I Penmans formel ingår temperaturen som en viktig faktor och troligtvis är det temperaturvariationen som syns i detta höjdberoende.

Simuleringen av avrinningen med HBV-modellen blev inte entydigt annorlunda om ett explicit uttryck för avdunstningens höjdberoende infördes. Beroende på hur standardversionen av modellen var kalibrerad kunde ett infört höjdberoende både försämrade och förbättrade en simulering. Om modellen i standardutförande gav en vårflod som avtog långsammare än i verkligheten så blev resultatet en förbättring vid införande av ett höjdberoende hos avdunstningen. Detta var fallet för Kultsjön. För området i Ljusnedal och Torrön är fallet att standardmodellen simulerar en vårflod som avtar för snabbt. Vid en modifiering av modellen som leder till att vårfloden avtar ännu snabbare blev resultatet med nödvändighet en försämring av R^2 . Motsvarande kan sägas om topparna i augusti och september. Om standardmodellen ger för höga toppar kommer en modifiering av modellen som gör topparna ännu högre att leda till en försämring av R^2 .

HBV-modellens höjdkorrekktioner av nederbörden (parametern PCALT) är för det mesta större än vad man i allmänhet beräknat (Alexandersson, 1993). Ett införande av ett beroende av höjden hos avdunstningen leder också till att dessa nederbördskorrekktioner får rimligare värden.

Trots att den potentiella avdunstningen i normalfallet baseras på standardmånadsmedelvärden erhöles endast marginella, om några alls, förbättringar av HBV-modellen vid införandet av dygnsvärden. Ett skäl till detta kan ha varit att många förenklingar sker vid beräkningen. Markvärmeflödet försumrades. I medeltal över ett år är flödet försumbart men på våren bidrar tjälen till att kyla ner markytan och avdunstningen överskattades. På hösten fanns mycket värme lagrat i marken som bidrog till att avdunstningen underskattades. Även globalstrålningen var utsatt för förenklingar. Den var, i synnerhet för Kultsjön, uppmätt långt ifrån de simulerade avrinningsområdena. Det beräknade värdet på globalstrålningens höjdberoende var också mycket approximativt och gav endast en antydning om storleken. De uppkomna felen på grund av dess förenklingar blev dock mindre eftersom Priestley-Taylors formel har en kalibreringskonstant.

Ett annat skäl till att man inte fick någon generell förbättring är att då modellen är halvempirisk tar många av parametrarna hand om inbyggda fel. Den beräknade verkliga avdunstningen i modellen är även beroende av markfuktigheten. Markfuktigheten beräknas varje dygn vilket leder till att modellen inte blir lika känslig för felaktig potentiell avdunstning.

6. TACKORD

Jag vill först och främst tacka min handledare Göran Lindström på SMHI som varit tillgänglig med idéer, hjälp och uppmuntran under arbetets gång och dessutom ägnat tid åt att leta fram data. Sven Halldin på Uppsala Universitet vill jag tacka för hjälp med Priestley-Taylors formel och för att han tagit sig tid att granska uppsatsen. Tack också till Hans Alexandersson och Weine Josefsson båda på SMHI. Alexandersson har gjort höjdkorrekktioner för nederbörden i Sverige och Josefsson hjälpte mig att få tillgång till SMHIs globalstrålningsdata. Även tack till alla andra på SMHI som varit intresserade av mitt arbete och kommit med synpunkter. Tillstånd för publicering av figur 1 har givits av Göran Lindström och för figur 2 av Sten Bergström, SMHI.

7. REFERENSER

- Alexandersson, H & Karlström, C & Larsson-McCann, S. (1991) *Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961-90 Referensnormaler*. SMHI Meteorologi nr 81. 87 sidor.
- Andersson, L (1989) Hänger det på avdunstningen? Försök att förbättra HBV/PULSE-modellen. *Vannet i Norden* Nr. 3. sid 14-27.
- Bergström, S (1976) *Utveckling och tillämpning av en begreppsmässig avrinningsmodell för skandinaviska nederbördsområden*. SMHI rapporter RHO 7. 133 sidor.
- Bergström, S (1990) *Parametervärden för HBV-modellen i Sverige*. SMHI Hydrologi nr. 28 1990. 35 sidor.
- Brandt, M, Jutman, T, Alexandersson, H (1994) *SVERIGES VATTENBALANS Årsmedelvärden 1961-90 av Nederbörd, Avdunstning och Avrinning*. SMHI Hydrologi Nr 49, 1994. 16 sidor
- Campbell, G S (1977) *An Introduction to Environmental Biophysics*. Springer-Verlag New York Inc. 159 sidor.
- Calder, I R (1990) *Evaporation in the Uplands*. John Wiley & Sons. 137 sidor .
- Eriksson, B (1983) *Data rörande SVERIGES NEDERBÖRDSKLIMAT. Normalvärden för perioden 1951-80*. SMHI Klimatsektionen Rapport 1983:28. 40 sidor.
- Eriksson, B (1981) *Den "potentiella" evapotranspirationen i Sverige*. SMHI rapport RMK 28, RHO 27. 30 sidor.
- Eriksson, B (1980) *Sveriges vattenbalans. Årsmedelvärden (1931-60) av nederbörd, avdunstning och avrinning*. SMHI Rapport RMK 18, RHO 21. 30 sidor.
- Giambelluca, T W & Nullet, D (1992) Evaporation at high elevations in Hawaii *Journal of Hydrology* 136, sid 219-235.
- Häggström, M, Lindström G, Sandoval L A, Vega M E V (1988) *Application of the HBV model to the upper Rio Cauca* SMHI Hydrology No 21, 45 sidor.
- Liljequist, G H (1970) *Populär meteorologi* Generalstabens Litografiska Anstalt. 169 sidor.
- Lindström, G & Bergström S (1992) Improving the HBV and PULSE-models by use of temperature anomalies. *Vannet i Norden* No 1, sid. 16-23.
- Melin, R (1943) *Nederbörd och vattenhushållning inom Malmagens fjällområde*. Meddelanden, Serien Uppsatser No. 44. Statens Meteorologisk-Hydrografiska Anstalt, Stockholm, 46 (Även publicerad i Geografiska Annaler, Band XXIV, 185-232).
- Penman, H L (1948) Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceeding, Royal Society. London Series A* 193, sid. 120-145.
- Penman, H L (1953) The physical basis of irrigation control. *Report of the Thirteenth International Horticultural Congress 1952, Volume two, The Royal Horticultural Society, London*, sid. 120-145.
- Priestley, C H B & Taylor, R I (1972) On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters, *Monthly Weather Review*, Vol. 100, sid. 81-92.
- Rosenberg, N J & Blad, B I & Verma, S B (1983) *MICROCLIMATE The biological environment*. John Wiley & Sons Inc. 495 sidor.
- Shaw, E M (1988) *Hydrology in practice*. Chapman & Hall. 527 sidor.

SMHI Hydrologiska byrån 1970, *Vattenföringsstationsnätet i Sverige. Inventering och Utbyggnadsförslag*, 165 sidor.

Spittlehouse, D.L. (1989) Estimating evapotranspiration from landsurfaces in British Columbia. *IAHS Publication No. 177*, sid 245-256.

Wallén, A (1918) Nederbörd, afrinning och afdunstning i Lagans vattenområde, *Teknisk Tidskrift. Väg- och vattenbyggnadskonst*, Vol. 48, sid 168-178.

Wallén, C, C (1966) *Global solar radiation and potential evapotranspiration in Sweden* SMHI meddelanden. serie B. Nr 24. 15 sidor.

Opublicerade data

Alexandersson, H (1993) personlig kontakt. SMHI If, 601 76 Norrköping. tel nr 011-158152

Halldin, S (1993) personlig kontakt. Uppsala universitet Hydrologi. Västra Ågatan 24, 753 09 Uppsala. tel nr 018-182262

Josefsson, W (1993) personlig kontakt. SMHI If, 601 76 Norrköping. tel nr 011-158183

SVAR (1993) Svenskt vattenarkiv. Data från SMHIs databas över vattenföringsserier

Bilaga 1: Nederbördskorrektioner

Nederbördsstationer	Korrektion (%)
Lillhärdal	24
Myskelåsen	30
Medskogen	26
Ljungdalen	28
Ljusnedal	26
Fjällnäs	25
Malmagen	31
Bruksvallarna	25
Lofsdalen	24
Hede	24
Storsjö kapell	22
Sveg	23
Särvsjö	24
Ljungdalen	16
Föllinge-Vägskälet	30
Storlien-Vissjövalen	47
Klocka	25
Duved	19
Skalstugan	32
Häggsjön	30
Medstugan	31
Rensjönäset	31
Baksjönäset	17
Sandnäs	29
Höglekardalen	29
Vallbo	31
Mörsil	24
Järpströmmen	26
Överäng	29
Mjölkvattnet	28
Björkede	22
Hoberg	37
Edevik	22
Kvikkjokk	24
Stenudden	23
Karats	21
Tjåmotis	15
Ritsem	25
Aktse	23
Aluokta	21

Tabell 7: Korrektioner av årsnederbörden för vätningsförluster, vindförluster och avdunstningsförluster enligt Eriksson (1983)

Bilaga 2: Viktning av nederbörd med Thiessenpolygoner

För att beräkna ett områdes arealmedelnederbörd krävs att de befintliga nederbördsstationerna viktas. Thiessenpolygoner är en objektiv metod att vikta nederbördsstationer (Shaw 1991). Alla nederbördsstationer i området placeras in på en karta. Området delas in i polygoner genom att ekvidistanta linjer dras mellan närliggande stationer. Figur 1 visar ett typiskt utseende. Polygonarean bestäms och arealmedelnederbörden beräknas enligt:

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n \frac{R_i \cdot a_i}{A} \quad (28)$$

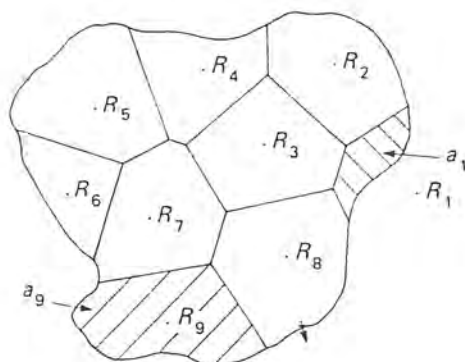
$\bar{R}$ = arealmedelnederbörd

R_i = Uppmätt nederbörd, mätare i

a_i = polygonarea

A = Områdets totala area

En nederbördsmätares vikt bestäms av (a_i/A)



Figur 15: Thiessenpolygonmetoden (Shaw 1988).

Tabell 8: Data för avrinningsområden i Ljusnan

Ljusnan	Övre Särvsjön	Grundsjön	Lofssjön	Lossen	Ljusnedal	Funäsdalen	Tännålen
Nummer på kartan	1	2	3	4	5	6	7
Avrinningsområdets area (km ²)	149	615	380	1345	340	74	233
Avrinningsområdets medelhöjd (m.ö.h.)	760	812	809	816	915	780	930
Medelvattenföring 61-90 (m ³ /s)	1,7	8,6	7,0	21,7	6,7	1,0	5,1
Korrigerad nederbörd (mm/år)	804	847	948	873	943	797	1051
Specifik avrinning (mm/år)	358	443	577	509	623	444	696
Avdunstning (mm/år)	446	404	371	364	320	353	355
Nederbördsstationernas vikter							
Lillhärdal							
Myskelåsen				0,116			
Medskogen	0,05	0,25		0,116			
Ljungdalen	0,1	0,25		0,049			
Ljusnedal	0,05	0,3		0,381	0,103	0,757	
Fjällnäs		0,1		0,338		0,068	0,459
Malmagen					0,156		0,442
Bruksvallarna					0,741	0,176	0,0987
Lofsdalen			1				
Hede	0,05						
Storsjö kapell	0,75	0,1					
Sveg							
Särvsjö							

Tabell 8: (forts)

Ljusnan (forts)	Fjällnäs	Lillglän	Ramundberget	Hedeviken	Backen	Vikarsjön (lokalt)	Sveg (lokalt)
Nummer på kartan	8	9	10	11	12	13	14
Avrinningsområdets area (km ²)	109	63	2,8	3270	60	1089	5830
Avrinningsområdets medelhöjd (m.ö.h.)	930	945	950	775	865	635	602
Medelvattenföring 61-90 (m ³ /s)	2,4	1,4	0,1	50,0	1,0	14,2	118,0
Korrigerad nederbörd (mm/år)	1066	1080	953	832	821	808	784
Specifik avrinning (mm/år)	692	714	646	482	545	411	636
Avdunstning (mm/år)	374	366	307	350	276	397	148
Nederbördsstationernas vikter							0,3
Lillhärdal							
Myskelåsen				0,066			
Medskogen				0,19	0,1		
Ljungdalen				0,0569			
Ljusnedal	0,165	0,286		0,169	0,5	0,1	
Fjällnäs	0,835	0,714		0,164			
Malmagen							
Bruksvallarna			1				
Lofsdalen						0,3	0,3
Hede				0,171		0,3	0,2
Storsjö kapell							0,1
Sveg						0,3	0,1
Särvsjö				0,186	0,4		

Bilaga 3 (forts)



Figur 16: Karta över avrinningsområden i Ljusnan.

Tabell 9: Data för avrinningsområden i Indalsälven

Indalsälven	Stor-Rensjön	Häggsjön	Nedre Anjan	Ottsjön	Åkerån	Torrön	Ännsjön
Nummer på kartan	15	16	17	18	19	20	21
Avrinningsområdets area (km ²)	119	128	436	723	132	1370	1574
Avrinningsområdets medelhöjd (m.ö.h.)	580	580	630	890	650	650	815
Medelvattenföring 61-90 (m ³ /s)	3,1	2,7	14,8	17,9	2,6	46,7	45,6
Korrigerad nederbörd (mm/år)	1130	1243	1083	938	977	1273	1167
Specifik avrinning (mm/år)	843	827	655	782	623	1075	914
Avdunstning (mm/år)	287	416	428	156	354	198	253
Nederbördsstationernas vikter							
Ljungdalen				0,2			
Föllinge-Vägskälet					1		
Storlien-Vissjövalen							0,4
Klocka							0,6
Duved				0,1			
Skalstugan							
Häggsjön			0,5				
Medstugan	0,2	0,1	0,05				
Rensjönäset	0,5	0,2	0,45				
Baksjönäset	0,3	0,4					
Sandnäs		0,3					
Höglekardalen							
Vallbo				0,7			
Mörsil							
Järpströmmen							
Överäng						0,1	
Mjölkvattnet							
Björkede						0,35	
Hoberg						0,2	
Edevik						0,35	

Tabell 9: (forts)

Indalsälven (forts)	Medstugusjön	Fångån	Nedre Korsvattnet	Nedre Mjölkvattnet	Sällsjön
Nummer på kartan	22	23	24	25	26
Avrinningsområdets area (km ²)	219	169	79	273	1279
Avrinningsområdets medelhöjd (m.ö.h.)	660	805	885	800	790
Medelvattenföring 61-90 (m ³ /s)	8,5	3,2	3,6	11,0	25,6
Korrigerad nederbörd (mm/år)	1392	916	1554	1465	936
Specifik avrinning (mm/år)	1217	600	1436	1272	632
Avdunstning (mm/år)	175	315	119	192	305
Nederbördsstationernas vikter					
Ljungdalen					0,15
Föllinge-Vägskälet					
Storlien-Vissjövalen					
Klocka					0,02
Duved					0,05
Skalstugan	0,9				
Häggsjön					
Medstugan	0,1				
Rensjönäset					
Baksjönäset					
Sandnäs					
Höglekardalen		0,12			0,15
Vallbo		0,88			0,5
Mörsil					0,11
Järpströmmen					0,02
Överäng				0,02	
Mjölkvattnet			1	0,75	
Björkede				0,23	
Hoberg					
Edevik					



Figur 17: Karta över avrinningsområden i Indalsälven.

Tabell 10: Data för avrinningsområden i Luleälven

Luleälven	Virihaure	Vastenjaure	Kutjaure	Kårtjejaure (Suorva)	Sitasjaure	Rissajokk
Nummer på kartan	27	28	29	30	32	33
Avrinningsområdets area (km ²)	1384	1918	2579	4988	982	195
Avrinningsområdets medelhöjd (m.ö.h.)	950	910	890	760	895	980
Medelvattenföring 61-90 (m ³ /s)	50	73	96	151	40	4
Korrigerad nederbörd (mm/år)	1057	1017	997	946	1329	707
Specifik avrinning (mm/år)	1140	1198	1173	957	1273	621
Avdunstning (mm/år)	-83	-181	-176	-11	56	85
Nederbördsstationernas vikter						
Kvikkjokk				0,25		
Stenudden						
Karats						
Tjåmotis						
Ritsem	1	1	1	0,75	0,26	1
Aktse					0,59	
Aluokta					0,15	

Tabell 10 (forts)

Luleälven (forts)	Njuonjes	Niavve	Niätsåsjokk	Selet	Litnok	Karats
Nummer på kartan	34	35	36	37	38	40
Avrinningsområdets area (km ²)	692	1700	188	519	670	1159
Avrinningsområdets medelhöjd (m.ö.h.)	1043	880	1060	985	1220	647
Medelvattenföring 61-90 (m ³ /s)	18	42	7	16	32	22
Korrigerad nederbörd (mm/år)	1010	1045	1195	1099	1226	890
Specifik avrinning (mm/år)	809	775	1137	974	1499	596
Avdunstning (mm/år)	201	271	58	125	-273	294
Nederbördsstationernas vikter						
Kvikkjokk	0,8	0,7	1	1	0,2	0,7
Stenudden						
Karats						0,15
Tjåmotis		0,3				0,15
Ritsem	0,2				0,1	
Aktse					0,7	
Aluokta						

Bilaga 3 (forts)



figur 18: Karta över avrinningsområden i Luleälven

Bilaga 4. Känslighetsanalys

Tabellerna visar vilka höjdkorrekationer (%/ 100 m) som använts för alla specifika avrinningsområden vid känslighetsanalysen.

Tabell 11: Använda höjdkorrekationer av nederbörden vid känslighetsanalysen i Ljusnan

Områden i Ljusnan	Förändring av höjdkorrekationer						
	100%	50%	20%	0	-20%	-50%	-100%
Övre Särvsjön	15,7	11,8	9,4	7,9	6,3	3,9	0
Grundsjön	15,3	11,4	9,2	7,6	6,1	3,8	0
Lofssjön	13,3	10,0	8,0	6,6	5,3	3,3	0
Lossen	14,3	10,7	8,6	7,1	5,7	3,6	0
Ljusnedal	13,8	10,4	8,3	6,9	5,5	3,5	0
Funäsdalen	18,1	13,6	10,9	9,1	7,2	4,5	0
Tännadalen	13,4	10,1	8,1	6,7	5,4	3,4	0
Fjällnäs	13,1	9,9	7,9	6,6	5,3	3,3	0
Lillglän	13,8	10,4	8,3	6,9	5,5	3,5	0
Hedeviken	15,1	11,3	9,1	7,5	6,0	3,8	0
Backen	16,6	12,5	10,0	8,3	6,6	4,2	0
Vikarsjön (lokalt)	15,5	11,6	9,3	7,8	6,2	3,9	0

Tabell 12: Använda höjdkorrekationer av nederbörden vid känslighetsanalysen i Indalsälven

Område	Förändring av höjdkorrekationer						
	100%	50%	20%	0	-20%	-50%	-100%
Häggsjön	14,0	10,5	8,4	7,0	5,6	3,5	0
Nedre Anjan	16,3	12,2	9,8	8,2	6,5	4,1	0
Stor-Rensjön	15,0	11,3	9,0	7,5	6,0	3,8	0
Ottsjön	16,1	12,1	9,7	8,1	6,5	4,0	0
Åkerån	13,8	10,3	8,3	6,9	5,5	3,4	0
Ånnsjön	16,4	12,3	9,8	8,2	6,6	4,1	0
Torrön	14,5	10,9	8,7	7,3	5,8	3,6	0
Nedre Korsvattnet	8,9	6,7	5,3	4,4	3,6	2,2	0
Nedre Mjölkvattnet	9,2	6,9	5,5	4,6	3,7	2,3	0
Medstugusjön	12,0	9,0	7,2	6,0	4,8	3,0	0
Fångån	15,4	11,6	9,2	7,7	6,2	3,9	0
Sällsjön	15,1	11,4	9,1	7,6	6,1	3,8	0

Bilaga 4(forts)

Tabell 13: Använda höjdkorrekationer av nederbörden vid känslighetsanalysen i Luleälven

Områden i Luleälven	Förändring av höjdkorrekationer						
	100%	50%	20%	0	-20%	-50%	-100%
Virihaure	31,9	23,9	19,1	15,9	12,7	8,0	0
Vastenjaure	31,9	23,9	19,1	15,9	12,7	8,0	0
Kutjaure	31,9	23,9	19,1	15,9	12,7	8,0	0
Kårtjejaure (Suorva)	30,3	22,7	18,2	15,1	12,1	7,6	0
Sallohaure	31,9	23,9	19,1	15,9	12,7	8,0	0
Sitasjaure	40,3	30,2	24,2	20,1	16,1	10,1	0
Rissajokk	31,9	23,9	19,1	15,9	12,7	8,0	0
Njuonjes	19,7	14,8	11,8	9,9	7,9	4,9	0
Niavve	16,8	12,6	10,1	8,4	6,7	4,2	0
Niåtsåsjokk	15,8	11,8	9,5	7,9	6,3	3,9	0
Selet	15,8	11,8	9,5	7,9	6,3	3,9	0
Litnok	15,2	11,4	9,1	8,5	6,1	3,8	0
Karats	17	12,7	10,2	7,6	6,9	4,2	0

Tabell 14: Potentiell avdunstning beräknad med Penmans formel för ett antal platser i Ljusnans avrinningsområde (Eriksson, 1981)

	Storsjö Kapell	Lofsdalen	Sveg	Särna	Storlien-Visjövalen	Frösön	Östersund
latitud	62,8	62,12	62,02	61,68	63,3	63,18	63,17
höjd (m.ö.h.)	580	610	360	435	642	376	345
avdunstning (mm/år)	358	425	487	450	402	508	506

Tabell 15: Potentiell avdunstning beräknad med Penmans formel för ett antal platser i Indalsälvens avrinningsområde (Eriksson, 1981)

	Gäddede	Ålåsen	Klimpfjäll	Hallviken	Hemavan	Vindel-Storsjö	Arjeplog	Stensele	Gunnarn	Björkede
latitud	64,5	63,87	65,07	63,73	65,82	65,77	66,03	65,07	64,97	64,03
höjd (m.ö.h.)	328	450	594	337	475	345	430	325	278	451
avdunstning (mm/år)	423	401	337	406	383	388	413	410	451	296

Tabell 16: Potentiell avdunstning beräknad med Penmans formel för ett antal platser i Luleälvens avrinningsområde (Eriksson, 1981)

	Kvikkjokk	Aluokta	Jokkmokk	Nikkaluokta	Kiruna fpl
latitud	66,97	67,3	66,62	67,83	67,82
höjd (m.ö.h.)	337	385	260	470	442
avdunstning (mm/år)	378	372	432	316	421

SMHI HYDROLOGI

Nr	Titel
1	Bengt Carlsson Hydrokemiska data från de svenska fältforskningsområdena. Norrköping 1985.
2	Martin Häggström och Magnus Persson Utvärdering av 1985 års vårflödesprognoser. Norrköping 1986.
3	Sten Bergström, Ulf Ehlin, SMHI, och Per-Eric Ohlsson, VASO Riktlinjer och praxis vid dimensionering av utskov och dammar i USA. Rapport från en studieresa i oktober 1985. Norrköping 1986.
4	Barbro Johansson, Erland Bergstrand och Torbjörn Jutman Skåneprojektet - Hydrologisk och oceanografisk information för vattenplanering - Ett pilotprojekt. Norrköping 1986.
5	Martin Häggström Översiktlig sammanställning av den geografiska fördelningen av skador främst på dammar i samband med septemberflödet 1985. Norrköping 1986.
6	Barbro Johansson Vattenföringsberäkningar i Södermanlands län - ett försöksprojekt. Norrköping 1986.
7	Maja Brandt Areella snöstudier. Norrköping 1986.
8	Bengt Carlsson, Sten Bergström, Maja Brandt och Göran Lindström PULS-modellen: Struktur och tillämpningar. Norrköping 1987.
9	Lennart Funkquist Numerisk beräkning av vågor i kraftverksdammar. Norrköping 1987.
10	Barbro Johansson, Magnus Persson, Enrique Aranibar and Robert Llobet Application of the HBV model to Bolivian basins. Norrköping 1987.

- | Nr | Titel |
|----|---|
| 11 | Cecilia Ambjörn, Enrique Aranibar and Roberto Llobet
Monthly streamflow simulation in Bolivian basins with a stochastic model.
Norrköping 1987. |
| 12 | Kurt Ehlert, Torbjörn Lindkvist och Todor Milanov
De svenska huvudvattendragens namn och mynningspunkter.
Norrköping 1987. |
| 13 | Göran Lindström
Analys av avrinningsserier för uppskattning av effektivt regn.
Norrköping 1987. |
| 14 | Maja Brandt, Sten Bergström, Marie Gardelin och Göran Lindström
Modellberäkning av extrem effektiv nederbörd.
Norrköping 1987. |
| 15 | Håkan Danielsson och Torbjörn Lindkvist
Sjökarte- och sjöuppgifter. Register 1987.
Norrköping 1987. |
| 16 | Martin Häggström och Magnus Persson
Utvärdering av 1986 års vårflödesprognoser.
Norrköping 1987. |
| 17 | Bertil Eriksson, Barbro Johansson, Katarina Losjö och Haldo Vedin
Skogsskador - klimat.
Norrköping 1987. |
| 18 | Maja Brandt
Bestämning av optimalt klimatstationsnät för hydrologiska prognoser.
Norrköping 1987. |
| 19 | Martin Häggström och Magnus Persson
Utvärdering av 1987 års vårflödesprognoser.
Norrköping 1988. |
| 20 | Todor Milanov
Frysförluster av vatten.
Norrköping 1988. |

- | Nr | Titel |
|----|---|
| 21 | Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval and Maria Elvira Vega
Application of the HBV model to the upper Río Cauca basin.
Norrköping 1988. |
| 22 | Mats Moberg och Maja Brandt
Snökartläggning med satellitdata i Kultsjöns avrinningsområde.
Norrköping 1988. |
| 23 | Martin Gotthardsson och Sten Lindell
Hydrologiskt stationsnät.
Svenskt Vattenarkiv
Norrköping 1989. |
| 24 | Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval y Maria Elvira Vega
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca superior del Río Cauca.
Norrköping 1989. |
| 25 | Gun Zachrisson
Svåra islossningar i Torneälven. Förslag till skadeförebyggande åtgärder.
Norrköping 1989. |
| 26 | Martin Häggström
Anpassning av HBV-modellen till Torneälven.
Norrköping 1989. |
| 27 | Martin Häggström and Göran Lindström
Application of the HBV model to six Centralamerican rivers.
Norrköping 1990. |
| 28 | Sten Bergström
Parametervärden för HBV-modellen i Sverige.
Erfarenheter från modellkalibreringar under perioden 1975 - 1989.
Norrköping 1990. |
| 29 | Urban Svensson och Ingemar Holmström
Spridningsstudier i Glan.
Norrköping 1990. |
| 30 | Torbjörn Jutman
Analys av avrinningens trender i Sverige.
Norrköping 1991. |

- | Nr | Titel |
|----|---|
| 31 | Mercedes Rodriguez, Barbro Johansson, Göran Lindström, Eduardo Planos y Alfredo Remont
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca del Río Cauto en Cuba.
Norrköping 1991. |
| 32 | Erik Arnér
Simulering av vårflöden med HBV-modellen.
Norrköping 1991. |
| 33 | Maja Brandt
Snömätning med georadar och snötaxeringar i övre Luleälven.
Norrköping 1991. |
| 34 | Bent Göransson, Maja Brandt och Hans Bertil Wittgren
Markläckage och vattendragstransport av kväve och fosfor i Roxen/Glan-systemet, Östergötland.
Norrköping 1991. |
| 35 | Ulf Ehlin och Per-Eric Ohlsson, VASO
Utbyggd hydrologisk prognos- och varningstjänst.
Rapport från studieresa i USA 1991-04-22--30.
Norrköping 1991. |
| 36 | Martin Gotthardsson, Pia Rystam och Sven-Erik Westman
Hydrologiska stationsnät/Hydrological network.
Svenskt Vattenarkiv.
Norrköping 1992. |
| 37 | Maja Brandt
Skogens inverkan på vattenbalansen.
Norrköping 1992. |
| 38 | Joakim Harlin, Göran Lindström, Mikael Sundby (SMHI) och Claes-Olof Brandesten (Vattenfall Hydropower AB).
Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionering av hel älv.
Norrköping 1992. |
| 39 | Sten Lindell
Realtidsbestämning av arealnederbörd.
Norrköping 1993. |
| 40 | Svenskt Vattenarkiv
Vattenföring i Sverige. Del 1. Vattendrag till Bottenviken.
Under utgivning. |

Nr	Titel	H 5
41	Svenskt Vattenarkiv Vattenföring i Sverige. Del 2. Vattendrag till Bottenhavet. Under utgivning.	
42	Svenskt Vattenarkiv Vattenföring i Sverige. Del 3. Vattendrag till Egentliga Östersjön. Norrköping 1993.	
43	Svenskt Vattenarkiv Vattenföring i Sverige. Del 4. Vattendrag till Västerhavet. Under utgivning.	
44	Martin Häggström och Jörgen Sahlberg Analys av snösmältningsförlopp. Norrköping 1993.	
45	Magnus Persson Utnyttjande av temperaturens persistens vid beräkning av volymspro- gnoser med HBV-modellen. Norrköping 1993.	
46	Göran Lindström, Joakim Harlin och Judith Olofsson Uppföljning av Flödeskommitténs riktlinjer. Norrköping 1993.	
47	Bengt Carlsson Alkalinitets- och pH-förändringar i Umeälven orsakade av minimitapp- ning. Norrköping 1993.	
48	Håkan Sanner, Joakim Harlin and Magnus Persson Application of the HBV model to the Upper Indus River for inflow fore- casting to the Tarbela dam. Norrköping 1994.	
49	Maja Brandt, Torbjörn Jutman och Hans Alexandersson Sveriges vattenbalans. Årsmedelvärden 1961 - 1990 av nederbörd, av- dunstning och avrinning. Norrköping 1994.	
50	Svenskt Vattenarkiv Avrinningsområden i Sverige. Del 3. Vattendrag till Egentliga Östersjön och Öresund. Norrköping 1994.	

Nr	Titel	H 6
51	Martin Gotthardsson Svenskt Vattenarkiv. Översvämningskänsliga områden i Sverige. Norrköping 1994.	
52	Åsa Evremar Avdunstningens höjdberoende i svenska fjällområden bestämd ur vatten- balans och med modellering. Norrköping 1994.	



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 Norrköping. Tel 011-15 8000. Telex 64400 smhi s.