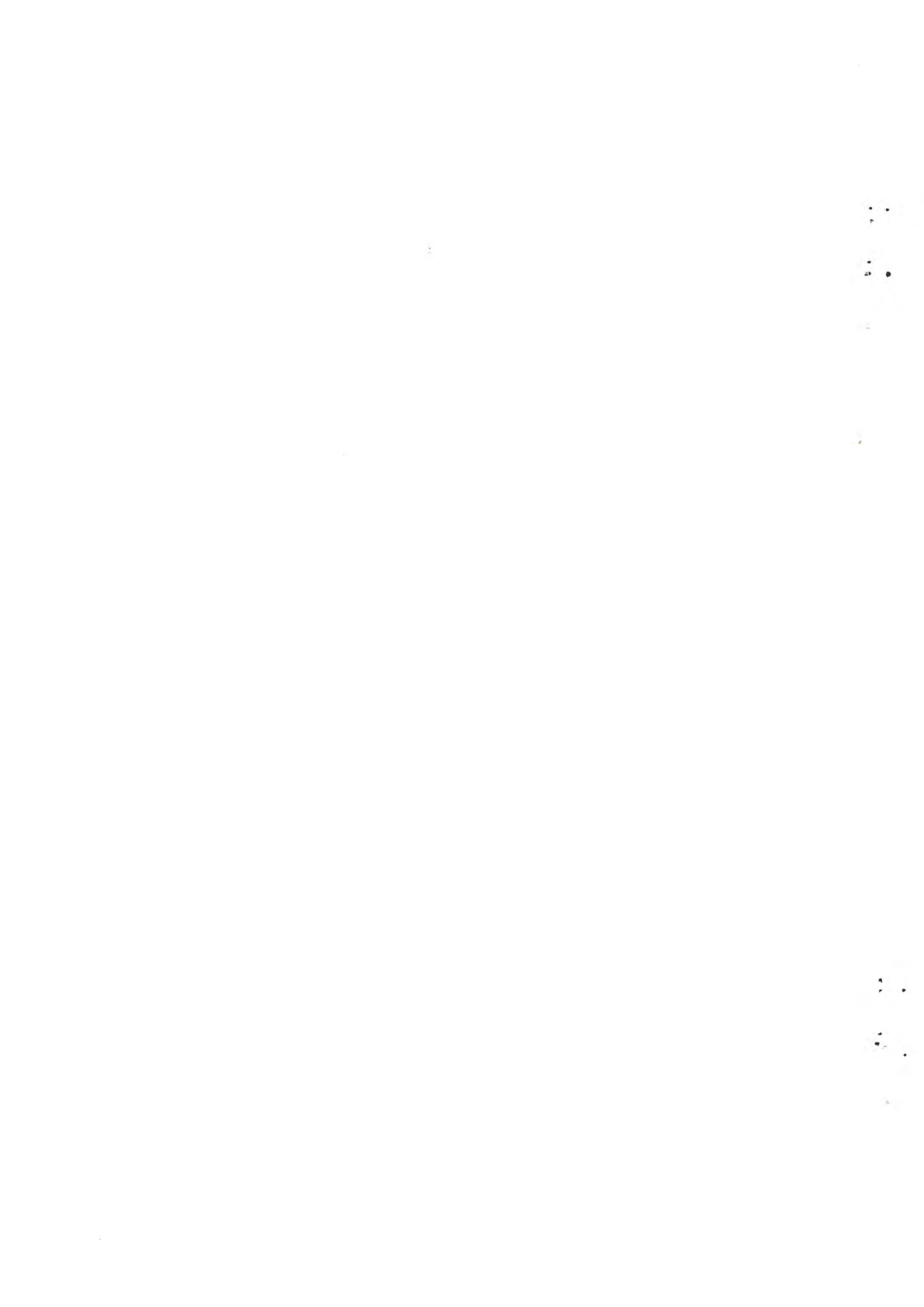


DEN «POTENTIELLA» EVAPOTRANSPIRATIONEN I SVERIGE

av Bertil Eriksson



DEN "POTENTIELLA"
EVAPOTRANSPIRATIONEN I SVERIGE

THE "POTENTIAL"
EVAPOTRANSPIRATION IN SWEDEN

av Bertil Eriksson

Issuing Agency Swedish meteorological and hydrological institut	Report number RIK 28, RHO 27	
Author (s) Bertil Eriksson	Report date March 1981	
Title (and Subtitle) The "potential" evapotranspiration in Sweden.		
<p>Abstract</p> <p>Some critical remarks regarding the concept of "potential" evapotranspiration are quoted. In spite of this daily values of "potential" evapotranspiration have been calculated for a lot of Swedish weather stations. Two different formulas have been used, the one by Penman and another one given by W Johansson. The global radiation is estimated with the aid of observations of cloud amounts. Different values of the albedo is tested. During winter time, when the ground is covered by snow, a high value of the reflexion coefficient is used.</p> <p>The results presented are monthly and annual means for the period 1961-78. The formulas used are valid neither for evaporation from forests nor from snow cover. But the results found seem to be rather reasonable. During winter the mean values are very close to zero. When the interception losses from forests are high the formula by Penman gives too low values.</p> <p>The mean annual values found for Sweden amount to 500-600 mm in the southern parts, 300-500 in the northern parts.</p> <p>The "potential" evapotranspiration values calculated have been compared with precipitation sums for the year, the growing season and for the summer months. The "potential" precipitation deficits have their highest values in the eastern parts of the south of Sweden.</p>		
<p>Key words</p> <p>Evaporation, transpiration, interception, potential evapotranspiration, Penman's formula, albedo, global radiation, air temperature, wind velocity, water vapour pressure, potential precipitation deficit, irrigation.</p>		
Supplementary notes	Number of pages 40	Language Swedish
ISSN and title 0347-2116, 0347-7827 The "potential" evapotranspiration in Sweden.		
Report available from: Liber Förlag - Allmänna Förlaget, S-196 43 VÄLLINGBY		

FÖRORD

Ett flertal personer inom SMHI har bidragit till att föreliggande rapport utarbetats. Programmerare Hans Andersson gjorde de ursprungliga datorprogrammen för beräkning av dagliga värden av potentiell evapotranspiration. Programmerare Lenny Johansson modifierade vissa programavsnitt, skrev program för tryckning av tabeller och beräkning av viss statistik samt för korrelationsberäkningar. Anita Bergstrand har renritat figurerna. Manuskriptet har renskrivits av Anneli Johansson.

Till samtliga framföres ett varmt tack.

Norrköping i mars 1981

Bertil Eriksson

Sammanfattning

Inledningsvis citeras kritiska anmärkningar mot begreppet "potentiell" evapotranspiration. Det har visats upprepade gånger att avdunstningshastigheten från ett vegetationsbestånd ej enbart är en funktion av meteorologiska variabler utan även beror av växtfysiologiska parametrar och jordartsförhållanden.

Trots detta har fältförsök visat att man med hjälp av meteorologiska variabler, nettostrålning, vindhastighet och ångtryckets mätnadsdeficit kan beräkna total avdunstning från gräs eller grödor med viss grad av tillförlitlighet. Detta tyder på att beräkningar av den s.k potentiella evapotranspirationen, med hjälp av enbart väderparametrar medelst någon av de många ekvationer som finns framtagna, ändå säger något om optimal total avdunstning från vissa växtslag. Sådana beräkningar, kombinerade med kunskap om nederbördens fördelning, ger upplysningar om inom vilka klimatområden potentiellt nederbördsdeficit kan förekomma, och där således konstbevattning av grödor kan vara aktuell.

För 152 svenska stationer har (för perioden 1961-78) dagliga värden av potentiell evapotranspiration beräknats enligt två olika formler, dels enligt H.L. Penman, dels enligt W Johansson. De meteorologiska parametrar som använts såsom ingångsdata är dygnsmedeltemperatur, dygnsmedelvärdet av vindhastighet, molnmängd och ångtryck från observationer kl 07, 13 och 19. Dessutom har snötäcksuppgifter utnyttjats. Dygnets medelmolnmängd har använts för att beräkna globalstrålningen med hjälp av ett regressionssamband. En kontroll av på så sätt uppskattade värden på den kortvägiga strålningar har skett genom att korrelera dem med uppräta värden. Korrelationen för dagliga värden blev ca 0.8. Från de beräknade dagliga värdena av potentiell evapotranspiration enligt Penmans resp Johanssons formel beräknades månads- och årssummor samt medelvärden och standardavvikelser för den studerade tidsperioden.

En jämförelse mellan månadsvärden enligt Penman och enligt Johansson visar, att under vegetationsperioden ger de båda metoderna tämligen överensstämmande belopp. Under vinterhalvåret ger Johanssons formel genomgående högre värden än Penman. Ingendera av formlerna är emellertid framtagna att gälla vinterförhållanden.

Penmans formel är känslig för vilka albedovärden som användes. Två olika uppsättningar har använts, dels 0.25 (0.75 vid snötäcke), dels 0.12 (0.50 vid snötäcke). Med de lägre reflexionskoefficienterna erhöles 20% högre total avdunstning än då de högre användes. De resultat som redovisas i tabell- och kartform, avser de vilka erhållits med de lägre reflexionskoefficienterna.

Årsmedelvärdena av potentiell evapotranspiration i Sverige visar värden mellan 500 och 600 mm i södra Sverige, 300-500 mm i norra. Under vintermånaderna ger Penmans formel värden

nära 0 mm. Under juni, då de högsta värdena förekommer, ligger dessa i större delen av landet inom intervallet 110-130 mm med liten skillnad mellan landets norra och södra delar.

Skillnaden mellan potentiell total avdunstning och nederbörd har studerats för året, växtperioden och enskilda månader under sommarhalvåret. Årsvärdena tyder på ett potentiellt nederbördsunderskott i östra delarna av södra Sverige. Under maj och juni är de potentiella nederbördsunderskotten störst i medeltal för en månad. Räknat över hela växtsäsongen är det östra Svealand och de östligaste delarna av Götaland som är mest besvärade av att växtligheten kan lida av otillräckligt med vatten för full utveckling, och därför är i behov av tillskott genom konstbevattning.

Slutligen varnas för att använda siffer- och kartmaterial för sådana fall som formlerna ej är avsedda för. Det gäller avdunstningen under vintern och avdunstningen från skog. För det senare fallet bör användas tillgängliga teoretiska modeller, vilka tar hänsyn till de växtfysiologiska faktorerna. Men för en grov, översiktlig kartläggning av möjlig total evaporation är det svårt att använda dessa formler, där vissa parametrar är bestämda av växtfysiologiska egenskaper som t.ex porradie. Ytresistansen är starkt beroende av om skogstäcket är torrt eller vått.

Summary

In the introductory remarks some critical comments regarding the concept of "potential" evapotranspiration are quoted. It has been proved repeatedly that the rate of evaporation in the biosphere is a function not only of meteorological factors but also depends upon pedological and biophysiological factors.

In spite of these objections field experiments have shown that it is possible to compute, with a certain degree of reliability, the total evaporation from meteorological variables only: net radiation, wind velocity and saturation deficit. These tests refer to growing grass and certain crops. This is an indication that formulas containing only meteorological parameters do permit a realistic estimate of the largest possible actual evaporation from certain biotopes. Such computations, combined with a knowledge of the distribution of precipitation amounts, are useful mainly because they may point to the need for irrigation.

For 152 Swedish weather stations daily values (for the period 1961-78) of potential evapotranspiration have been calculated according to two different formulas. The well-known formula by Penman and another one by W Johansson have been used (See ref 10). The meteorological parameters available and necessary for the calculations are: daily means of air temperature, wind velocity, cloud amount and water vapour pressure. In addition to these variables snow depth has been used. The cloud amount has served to provide an estimate of the total short-wave radiation, using a regression equation. Daily values obtained in this way were tested against the result of direct measurements. The correlation coefficient was found to be 0.8. From the daily values of potential evapotranspiration according to Penman and Johansson monthly and annual values were computed as well as means and standard deviations for the whole period.

A comparison between monthly values from the two different equations shows the following. During the vegetation period the two methods give rather similar results. As the formula by Johansson is much easier to handle, it seems to be acceptable to use it for many purposes. During the winter half-year Johansson's formula gives higher values than Penman's. But, and this is important, neither was developed for winter conditions.

The formula by Penman is sensitive to the values adopted for the albedo. Two sets of values have been tried, 0.25 (0.75 when the ground is covered by snow) and 0.12 (0.50). Using the lower figures for the albedo leads to an increase of the total evaporation values by as much as 20%, when compared with the values obtained by using the higher figures. The results presented in tables and charts refer to albedo values 0.12 (0.50).

The annual values of potential evapotranspiration thus found for Sweden amount to 500-600 mm in the southern parts of the country, 300-500 mm in the northern parts. During the winter months Penman's formula gives - contrary to results published previously (ref 14) - mean values very close to 0 mm. The highest monthly mean values are found in June. They fall within the interval 110-130 mm in most parts of the country. The differences between the north and the south of Sweden are small.

The potential evapotranspiration values have been compared with precipitation sums for the year, the growing season and the summer months. The annual values indicate potential precipitation deficits in the eastern parts of southern Sweden. During May and June these deficits, based on climatological mean values, reach their annual maximum. For the growing seasons as a whole the "driest" parts of Sweden are the eastern parts of the south of Sweden. In this area the plants and trees may, during certain periods, suffer from lack of water in the root zones and irrigation may be needed to ensure good harvest results.

Finally, some caution is recommended when using the results presented. The assumptions behind the formulas should be kept in mind. In fact the formulas were derived for growing grass. Thus it is questionable whether the results can be applied to areas covered by snow or by forests. The mechanism of transpiration and interception from forests has been carefully studied and the models and formulas derived for forest canopies ought to be used. But for a crude, general mapping it is difficult to use these formulas.

Innehållsförteckning

1.	Allmänt angående avdunstning	1
2.	Använda beräkningsmetoder	
2.1	Penmans formel	4
2.2	W Johanssons formel	6
2.3	Uppskattning av daglig globalstrålning	6
2.3.1	Korrelation mellan beräknad och uppmätt globalstrålning	8
3.	Utförd datorbearbetning	11
4.	Känsligheten hos Penmans formel för fel i de ingående parametrarna	14
5.	Presentation av beräkningsresultat	
5.1	Jämförelse mellan avdunstningsvärden enligt W Johansson och enligt Penman	18
5.2	Värden enligt Penman	18
5.2.1	Kommentarer till månadskartor över E_p	19
5.2.2	Kommentarer till kartor avseende hela året och perioden april-september	28
5.2.3	Jämförelse mellan verklig avdunstning över skog och Penmanvärden	30
5.2.4	Avdunstning från snöytor	32
5.3	Potentiellt nederbördsunder- resp överskott ($\bar{E}_p - \bar{P}$)	34
5.3.1	Kommentarer till månadskartor över $\bar{E}_p - \bar{P}$	34
5.3.2	Kommentarer till års- och halvårskartor över $\bar{E}_p - \bar{P}$	
6.	Slutsatser	39
	Referenser	40

1. Allmänt angående avdunstning

Det totala flödet av vattenånga, är summan av avdunstning, transpiration och interception ($E + E_t + E_i$). Avdunstning är den fysikaliska process varvid vatten omvandlas till vattenånga. Transpiration är vattenavdunstning från inre ytor i levande organismer. Den tredje faktorn, interceptionen, är nederbörd som samlats på löv, gräs och trädstammar och avdunstar. Det är ofta svårt att identifiera källan varifrån det avdunstade vattnet kommer och det totala vattenångeflödet är vad man lägger i begreppet evapotranspiration.

Avdunstningshastigheten i biosfären beror på tre faktorer, tillgängligheten på vatten, storleken på ångtrycksdifferensen mellan källor och sänkor samt på effektiviteten hos transportmekanismen. Sambandet mellan de bestämmande faktorerna är komplicerat pga vädrets nyckfullhet och de stora olikheterna hos ytparametrarna som samspelar med atmosfären för att åstadkomma skilda mikroklimat.

Transpirationshastigheten i t.ex skogskronor kan vara förvånansvärt höga. I litteraturen finns uppgifter om att under en varm dag kan totala vattenförlusten överstiga 5 l/m^2 , och uppgifter finns att man under en hel växtsäsong har observerat att medelvattenförlusten för ett skogsområde var över 2 l/m^2 och dag. När skogen är torr kan den själv reglera sin transpiration genom att mer eller mindre öppna de små porer (stomata), som finns på blad och barr. Man talar om att växterna har en resistans mot avdunstning för att kunna hushålla med vattentillgången i rotzonen. Avdunstningen från våt barrskog kan vara 5 gånger högre än från torr skog. Enligt Lee (1978) har det funnits en tendens bland forskare att antaga att under samma atmosfäriska förhållanden är transpirationshastigheten densamma för alla täta skogsbestånd med samma reflexionsförmåga oberoende av art och höjd, samt att avdunstningen från ett växtsamhälle aldrig överskrider den från fuktig jord eller vattenyta med samma exponering. Lee säger att bägge dessa antaganden är felaktiga.

Interceptionsförlusterna varierar betydligt beroende på hur nederbördens fördelning är i tiden. Den är mindre vid ihållande regn än vid intermittenta regn eller regnskurar då molntäcket lättar mellan nederbördstillfällena. Interceptionens storlek beror också på vegetationens art, höjd och täthet. Under sommaren fångar skogsområden 20-30% av nederbörden som avdunstar direkt. Högre värden, upp emot 50%, kan förekomma.

Interceptionen från barrskogstäcke kan överstiga den från en vattenyta eller fuktig jord vid samma atmosfäriska förhållanden.

Det finns många olika metoder för att beräkna totala avdunstningen. En utmärkt sammanfattning och kortfattad beskrivning av metoder finner man i ref 2 och 3. Olika metoder bör användas i olika sammanhang. Överensstämmelsen mellan olika metoder är ibland svag. Beträffande vattenbalansmetoden säger Lee (1978): "It has been tentatively established that, even

under the most rigorous research conditions, estimates of total vaporization obtained as the difference between precipitation and surface water discharge are accurate only to $\pm 15\%$.

(Lee, 1970). In spite of its weaknesses, the water-balance technique is probably more accurate than any theoretical or empirical formula used to estimate vaporization from natural terrain".

Ett begrepp som har blivit mycket använt är "potentiell" avdunstning. Det är drygt 30 år sedan två forskare, Penman och Thornwaite oberoende av varandra utvecklade begreppet. Lee är starkt kritisk mot begreppet och säger att om inte annat så har det "överlevadsvärde" men frågar sig om "värde" i detta sammanhang skall tolkas med positivt eller negativt tecken.

Det ursprungliga begreppet potentiell evapotranspiration (E_p) var helt intuitivt och ej möjligt att tolka på ett fysikaliskt sätt. Penmans definition (1956) av begreppet är följande: "It is the amount of water transpired in unit time by a short green crop, completely shading the ground, of uniform height and never short of water". Direkt avdunstning från marken antogs vara försumbar.

En något annorlunda definition är följande. Med E_p avses den mängd vatten som förbrukas för växternas transpiration och evaporation från ett växtsamhälle i god växt, när det finns optimal tillgång på vatten i rotzonen.

Tre grova generaliseringar, som man har visat är felaktiga, ligger i antagandena. Den potentiella avdunstningen sägs vara:

- 1 Oberoende av jordart och växtslag. Hänsyn tas dock till olika växters skilda albedon.
- 2 Bestämd av rådande väder.
- 3 Kan inte överskrida avdunstningen från en öppen vattenyta vid samma väderförhållanden.

Speciellt antagandet 2 har medfört att många har beräknat värden på potentiell avdunstning även för andra fall än som definitionen omfattar.

En mängd mer eller mindre komplicerade formler har under årens lopp tagits fram för att beräkna potentiell avdunstning. I Ryssland användes en formel framtagen av Budyko. I västvärlden har ofta Penmans formel kommit till användning. En utvidgning och förbättring av Penmans formel är Monteith-Penmans ekvation, där hänsyn tas till växtfysiologiska faktorer genom att bl.a växternas ytrenistans ingår i formeln. Olika variationer förekommer av Penmans formel t.ex van Bavel's. Andra välkända formler är de som tagits fram av Thornwaite, Blaney & Criddle, Holdridge & Hamon och Turc för att nämna några. I Sverige har regressions samband mellan potentiell avdunstning och instrålning, vindhastighet och ångtrycksdeficit tagits fram av W Johansson (1969).

Värden på den potentiella evapotranspirationen för 28 svenska stationer beräknades av Wallén (1966) med hjälp av Penmans formel. Han använde månadsnormalvärden vid beräkningarna och erhöll negativa värden under vintermånaderna, för vissa månader 10-14 mm, vilket förefaller orealistiskt.

Anledningen till att nytt material avseende den potentiella evapotranspirationen i Sverige presenteras, är att önskemål har framförts, speciellt från hydrologiskt håll, att månads-kartor framställs som visar medelvärden av potentiell avdunstning. Ett önskemål var också att ett tätare stationsnät skulle ge större detaljrikedom än Walléns karta ger. Det fanns också ett intresse att se hur den årskarta över medelavdunstningen som publicerades i RMK 18, RHO 21 (1980) förhåller sig till en årskarta över potentiell evapotranspiration.

Det är emellertid med tvekan som data över potentiell avdunstning publiceras, med anledning av den skarpa och berättigade kritik som framförts mot begreppet potentiell evapotranspiration, och det sätt på vilket framtagna formler användes. Dock tycks det finnas viss användning för dylika värden, om dessa används med stor kritik och urskillning. I de flesta av jordens jordbruksdistrikt överstiger avdunstningen nederbörden under växtperioden och även summan av nederbörd och det vatten som finns tillgängligt i rotzonen. Detta leder till behov av konstgjord bevattning, och kunskaper om största möjliga vattenkonsumtion är därför viktig för att på bästa sätt fördela vattentillgång inom områden med otillräckliga vattenresurser. Även i Sverige finns det områden som vissa tiden visar vattenunderskott. Därför kan det vara befogat att också i Sverige, i varje fall under vegetationsperioden, känna till approximativa värden på maximalt (potentiellt) möjlig evapotranspiration.

2. Använda beräkningsmetoder

2.1 Penmans formel

Av den uppsjö formler som finns för beräkning av potentiell avdunstning har i denna undersökning Penmans och W Johanssons formler använts. Den bättre formeln enligt Monteith-Penman har ej använts därför att i denna ingår parametrar för yt-resistans och aerodynamisk resistans, vilka värden varierar under dagen och dessutom är dåligt kända.

Penmans formel har blivit föremål för ingående tester mot uppmätta värden. Vid t.ex kungliga veterinär- och lantbruksuniversitetet i Köpenhamn har man under många år gjort jämförelser mellan avdunstningsvärden beräknade enligt Penmans metod och uppmätta värden från grästäckta evapotranspirometrar (lysimetrar) och från fria vattenytor. Penmansvärdena beräknades från dygnsvärden av parametrarna nettostrålning, luftfuktighet, vindhastighet och värmeflödet i jorden. Dygnsvärdena bildades från observationer var 10:e minut. Från en uppsats av Kristensen (1979) citeras några resultat och slutsatser. Den potentiella avdunstningen från en gräsyta kan uppskattas med Penmans metod, om de beräknade värdena reduceras med 10%. Den maximala avdunstningen från en fri vattenyta är ca 10% högre än den potentiella evaporationen från gräs. Den maximala aktuella evapotranspirationen från vissa grödor som korn och sockerbetor överstiger den potentiella evapotranspirationen från gräs med ca 10%. Även om fältförsök visar att Penmans formel ger rimliga värden på potentiell evapotranspiration från gräs och vissa grödor är steget långt att använda Penmans formel för hela Sveriges yta, som alls inte är täckt av gräs eller grödor utan till stor del av skog, moss- och myrmarker, impediment m.m. Transpirationsmekanismerna för skog är annorlunda än för gräs, varför man inte vet i vad mån Penmans formel ger några användbara värden för skogsområdena, vilka täcker mer än 50% av Sveriges yta. Under viss del av året täcks dessutom landets yta av snö och att räkna ut avdunstning från snöytor med Penmans formel är mycket suspekt. Delvis annorlunda fysikaliska processer råder över en snöyta än en gräsyta och under våren användes viss del av inkommande energi till fasomvandling.

Beträffande avdunstning från skog se kommentarer längre fram under resultatredovisningen i avsnitt 5.2.3 och beträffande avdunstning från snöytor avsnitt 5.2.4 på sid 42.

Trots alla invändningar som kan göras mot att använda Penmans formel har så emellertid skett. För 152 svenska stationer har ett värde för varje dag under perioden 1961-78 (för några stationer ingår 1979 års data) beräknats från Penmans formel. Samtidigt har värden enligt W Johanssons formel beräknats. Wallén gjorde sina beräkningar på normala månadsmedelvärden för de i formeln ingående väderparametrarna. Att använda dagliga värden i stället för månadsmedelvärden eller månadsnormalvärden ger högre precision.

Penmans formel kan skrivas på följande sätt:

$$E_p = \left[\left[R (1-r) - \sigma T_2^4 \left\{ (a-b\sqrt{e}) - \Delta L \right\} (1-0.9m) + \Delta G \right] \frac{de_s/dT}{\gamma \cdot L} + c(0.5 + d \cdot v_2) (e_s - e) \right] \frac{L}{L + \frac{de_s}{dT}} \quad (1)$$

Beteckningar enligt följande:

- E_p = potentiell evaporation enligt Penman (mm vattenånga/dygn eller $\text{kg m}^{-2} \text{dygn}^{-1}$)
- R = globalstrålning ($\text{Ws/m}^2 \text{dygn}$)
- r = ytans albedo (reflexionskoefficient)
- σ = Stefan-Boltzmanns konstant ($0.00492 \text{ Ws/m}^2 \text{grad}^4 \text{dygn}$)
- T_2 = lufttemperatur på 2 m höjd ($^{\circ}\text{K}$)
- e = ångtryck (mb) e_s = mättnadsångtryck vid temp T_2
- ΔL = $(T_0^4 - T_2^4)$ dvs skillnaden i långvågsstrålning på 2 m höjd och markytan
- m = molnighetsandel ($m=0$ klart, $m=1$ mulet)
- ΔG = förändring i markens eller vattnets värmelagring
- $\frac{de_s}{dT}$ = derivatan av mättnadsångtrycket med avseende på temp (mb/grad)
- γ = psykrometerkonstanten (0.66 mb/grad)
- L = vattnets ångbildningsvärme ($25 \cdot 10^5 \text{ Ws/kg}$)
- v_2 = vindhastighet på 2 m höjd (m/s)
- a, b, c, d är konstanter.

Ovanstående formel har förenklats genom att termerna ΔL och ΔG har försummats. Genom att termen ΔG strykes, dvs hänsyn tas ej till värmeutbytet med de delar som ligger under den avdunstande ytan, blir de beräknade värdena för höga när markytorna värms upp under våren och försommaren och motsatt förhållande råder vid avkylningen under hösten, då i jorden lagrad energi kan användas för avdunstning.

Följande värden har använts på de i formeln ingående empiriska konstanterna

$$a = 0.56, b = 0.080 \text{ mb}^{-1/2}, c = 0.26 \text{ kg/m}^2, \text{mb, dygn}, d = 0.54 \text{ s/m}$$

Som värden på T_2 har använts dygnsmedeltemperaturen. För e , m och v_2 har använts medelvärdet av observationerna kl 07, 13 och 19. Vindhastigheten som de meteorologiska stationerna rapporterar avser medelvinden under 10 min på 10 m höjd över marken. För att reducera rapporterade värdena till ca 2 m höjd har dessa multiplicerats med faktorn 0.8. Beträffande använda värden på globalstrålningen se avsnitt 2.3 längre fram.

2.2 W Johanssons formel

W Johanssons formel är ett regressionssamband som erhållits från mätningar i Ultuna under ett sommarhalvår.

$$E_j = A + B \cdot Q + C \cdot v (e_s - e) \text{-----} (2)$$

E_j = potentiell evapotranspiration enligt W Johansson (mm vattenånga/dygn)

Q = daglig instrålning (cal/cm^2)

v = medelvärde av vindhastigheten på 1.5 m höjd över marken från observationer kl 07, 13 och 19 (m/s)

e_s = vattenångans mättnadstryck (mm Hg) vid dygnsmedeltemperatur

e = ångtrycket i luften på 1.5 m höjd, medelvärde av fuktighetsmätningar kl 07, 13 och 19.

För Ultuna erhöll regressionskoefficienterna följande värden:

$$A = 0.14, B = 3.7 \cdot 10^{-3}, C = 0.13.$$

För andra årstider beräknades andra koefficienter.

2.3 Uppskattning av daglig globalstrålning

Mätning av globalstrålning sker i Sverige vid ca 10 orter. Detta antal är för litet för att kunna göra en kartläggning av E_g . Antalet orter som registrerar solskenstiden är större, drygt 10^3 , men är också för litet antal för att kunna göra en kartläggning av potentiell avdunstning. Därför har molnmängdsobservationer utnyttjats för att göra uppskattningar av globalstrålningen.

Följande enkla formel har använts för att beräkna dygnsvärden av globalstrålningen R .

$$R = Q_a \cdot a + b (8-m)/8 \text{-----} (3)$$

Q_a är genomsnittlig daglig instrålning utanför atmosfären.

m är medelmolnigheten i oktavar av observationerna kl 07, 13 och 19.

a och b är regressionskoefficienter.

Värden på Q_a erhöjls från tabell 1, som ger värden på breddgrader aktuella för Sverige.

Tabell 1. Genomsnittlig daglig insolation Q_a utanför atmosfären under årets olika månader på några följ Sverige aktuella breddgrader. Efter data från McCullough (1968) beräknade med solarkonstanten $1.95 \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$.

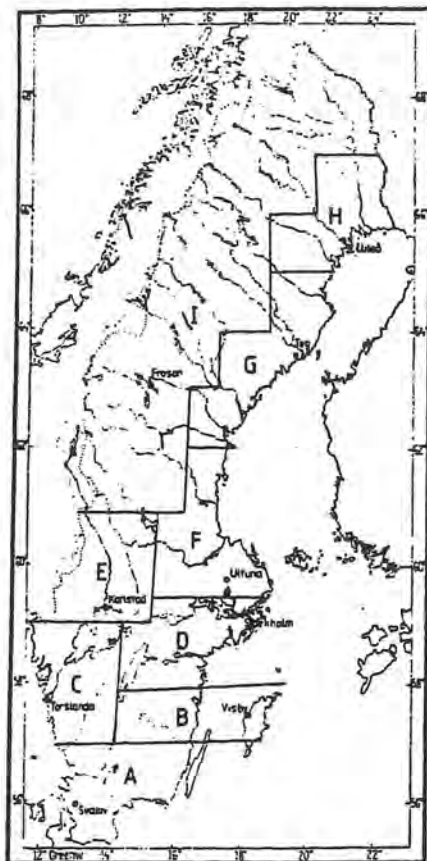
Månad	$Q_a \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}$							
	54°N	56°N	58°N	60°N	62°N	64°N	66°N	68°N
Jan.	162	135	109	84	61	39	21	8
Feb. 28 dagar	291	262	233	205	176	148	121	94
29 dagar	294	265	236	208	179	151	124	97
Mars	492	465	438	411	383	355	326	297
April	717	698	678	659	638	617	596	575
Maj	897	888	879	869	860	852	844	838
Juni	982	978	976	973	972	972	976	987
Juli	942	936	931	925	920	916	914	917
Aug.	792	777	762	747	731	715	699	683
Sept.	581	557	533	509	483	458	431	405
Okt.	364	336	307	279	250	228	192	164
Nov.	200	172	144	118	92	68	46	27
Dec.	129	103	79	55	35	17	4	0

W Johansson har utfört en korrelationsanalys mellan kvoten R/Q_a och molnigheten för 9 stationer. En uppdelning gjordes i sommar- (april-sept) och vinter- (okt-mars) förhållanden. För sommarvärdena erhöjls korrelationskoefficienter mellan 0.90 (Ultuna) och 0.55 (Luleå). För vintermånaderna var högsta korrelationskoefficienten 0.86 (Visby) och lägsta 0.68 (Teg). Man kan inte vänta sig att finna särskilt höga korrelationer, om man endast utnyttjar uppgifter om samlad molnmängd och inte tar hänsyn till molnslag och molnhöjd. Under en sommarkdag med cumulusmolnighet kan man till följd av reflexioner mot molnytorna få högre instrålad energi, som når jordytan, än vid molnfri himmel.

Sverige delades i 9 delområden enligt fig 1. Inom varje område finns en station för vilken koefficienterna a och b i ekv 4 har bestämts. Dessa koefficienter får gälla för hela området. I tabellen nedan ges dessa värden.

Tabell 2. Förteckning över använda regressionskoefficienter vid beräkning av globalstrålning.

Område	Sommar		vinter	
	a	b	a	b
A	0.32	0.38	0.14	0.69
B	0.25	0.59	0.11	0.83
C	0.30	0.43	0.10	0.75
D	0.23	0.61	0.14	0.69
E	0.24	0.68	0.05	1.03
F	0.22	0.59	0.15	0.62
G	0.23	0.61	0.14	0.68
H	0.32	0.34	0.08	0.85
I	0.27	0.58	0.11	0.88



Figur 1
Indelningen i 9 delområden A-I

Enligt W Johanssons undersökningar erhålles inte, vilket man skulle förmoda, väsentligt större noggrannhet vid beräkningen av globalstrålningen, om man i stället för molnmängd använder sig av uppmätt solskenstid. För sommarmånaderna befanns högsta korrelationen mellan R/Q_0 och S/S_0 (solskenstid i relation till största möjliga) vara 0.93, lägsta 0.67. För vintern gäller 0.90 och 0.63 som högsta resp lägsta erhållna korrelationskoefficienter. Skillnaderna mellan dessa och tidigare citerade, som erhöles då molnigheten användes som förklarande variabel, är ej så stor.

2.3.1 Korrelationen mellan beräknad och uppmätt globalstrålning

För 11 orter, där globalstrålningen uppmätts, gjordes en kontroll av hur pass bra de dagliga, skattade värdena (enl ekv 3) av globalstrålningen stämmer överens med de uppmätta. Perioden 1961-78 undersöktes, vilket betyder att för varje månad fanns drygt 500 samhörande värden. I tabell 3 nedan ges en sammanställning av resultaten. För varje station och månad ges korrelationskoefficient (r), standardavvikelse hos beräknade (s_x) och uppmätta (s_y) dagliga strålningsvärden samt medelvärdet för hela tidsperioden av beräknade (\bar{x}) och uppmätta värden (\bar{y}). Enheten som användes är $\text{cal cm}^{-2} \text{ dygn}$.

Av tabellen kan utläsas att beräkningen av årssummorna i medeltal för den undersökta perioden ger god tillförlitlighet. Avvikelserna mellan beräknade och uppmätta värden är absolut taget mindre än 5% för samtliga stationer utom två nordliga, Luleå och Frösön. Ser man på månadsvärdena är precisionen lägre. Eftersom den använda metoden är en regressionsmetod, innebär det att de beräknade värdena har lägre spridning än de uppmätta. För månader med liten instrålning är spridningen hos de beräknade värdena avsevärt lägre procentuellt sett än hos de uppmätta. Under sommarmånaderna är dock skillnaderna ifråga om varianserna inte lika stora. De beräknade korrelationerna är i

allmänhet ca 0.8, dock lägre för stationerna i norra Sverige under vinterhalvåret. Det betyder att omkring 65% av variationerna hos globalstrålningen har kunnat förklaras med hjälp av molnmängdsobservationerna.

Den använda metoden för att uppskatta strålningen skulle kunna förbättras. I stället för att använda ett och samma värde på instrålningen Q_a under en hel månad, borde olika värden för varje dygn användas, eftersom Q_a under vår och höst har olika belopp vid månadernas början och dess slut. Säkrare värden på regressionskoefficienterna skulle kunna bestämmas. Eventuellt skulle värden bestämmas för varje månad. Man borde också pröva om bättre samband erhålles genom att beräkna m , molnigheten, i ekv 3 på annat sätt än som ett enkelt medelvärde av tre observationer. Prov har gjorts att, med samma koefficienter som i tabell 2, ge molnmängden kl 13 dubbel vikt och att även utnyttja molnobservationerna kl 10 och 16. Dessa försök gav så gott som samma värde på korrelationskoefficienten som de vilka redovisas i tabell 3.

Vilka differenser mellan E_p -värden beräknade från uppmätta resp beräknade dygnsvärden^p av globalstrålningen som kan erhållas belyses senare.

Tabell 3

Korrelationen mellan beräknade (x_1) och uppmätta värden (y) på globalstrålningen (cal_2 , dygn) samt standardavvikelser och medeltal. Perioden 1961-78.

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Kiruna fpl	r	.16	.38	.43	.71	.79	.80	.76	.81	.66	.61	.21		
	S_x	1.4	15.7	49.0	90.8	132.4	129.4	112.2	92.3	52.3	24.0	4.6	0	
	S_y	4.9	30.2	75.2	102.7	137.9	160.5	141.7	127.3	77.4	39.2	10.0	0.3	
	$\frac{S_y}{x-y}$	4.0	47.8	147.7	266.5	397.4	451.5	412.8	302.1	178.2	70.5	12.2	0	2290
	$\frac{S_y}{y}$	3.2	45.0	173.7	313.9	430.4	459.0	393.9	288.6	156.7	57.0	8.8	0.1	2330
% avvikelse													-1.7	
Luleå Kallax	r	.41	.59	.67	.81	.78	.79	.79	.81	.76	.69	.53	.39	
	S_x	2.1	12.4	33.3	59.8	78.4	84.6	76.2	61.9	39.9	18.1	4.6	0.6	
	S_y	9.5	38.0	75.8	123.4	143.2	148.7	134.0	127.0	86.4	45.0	15.7	2.2	
	$\frac{S_y}{x-y}$	9.1	53.3	147.6	259.8	382.9	447.0	422.3	311.0	184.7	80.9	19.5	1.7	2620
	$\frac{S_y}{y}$	8.5	53.7	171.6	299.7	421.6	485.6	447.4	312.4	169.9	64.9	16.1	2.4	2454
% avvikelse													+6.8	
Frösön	r	.54	.65	.66	.75	.83	.80	.76	.80	.73	.66	.55	.49	
	S_x	6.6	26.0	62.6	99.8	144.6	144.1	137.7	110.7	64.6	33.8	11.0	2.8	
	S_y	13.1	42.3	85.3	123.1	170.0	176.5	165.3	138.3	91.1	48.5	17.1	5.9	
	$\frac{S_y}{x-y}$	18.0	71.2	176.2	290.4	421.7	482.5	435.0	346.3	202.9	97.9	30.1	7.8	2580
	$\frac{S_y}{y}$	17.9	77.4	201.6	339.2	434.7	496.3	447.5	351.1	193.8	78.4	24.6	7.6	2235
% avvikelse													+15.4	
Umeå/ Teg	r	.43	.64	.69	.80	.85	.83	.84	.82	.75	.70	.66	.68	
	S_x	7.6	28.7	68.6	114.5	158.8	159.5	144.7	119.1	73.4	40.3	12.9	3.2	
	S_y	19.6	40.1	81.8	129.2	167.8	162.6	163.1	137.3	101.6	53.9	19.6	4.7	
	$\frac{S_y}{x-y}$	16.2	65.1	159.2	278.6	419.4	504.6	445.2	346.2	197.6	96.4	29.0	7.2	2565
	$\frac{S_y}{y}$	15.9	68.1	182.0	298.0	440.5	534.5	464.8	358.1	195.3	83.9	24.3	6.4	2672
% avvikelse													-4.0	
Karlstad	r	.76	.75	.76	.85	.83	.83	.81	.80	.79	.81	.76	.72	
	S_x	17.8	44.8	89.5	137.2	171.3	181.2	166.2	138.1	93.8	54.7	24.4	12.2	
	S_y	24.0	56.8	105.7	157.7	177.9	173.6	168.0	137.8	109.5	69.5	30.6	16.4	
	$\frac{S_y}{x-y}$	35.6	93.4	206.1	329.4	454.5	547.4	482.8	399.0	246.4	123.7	50.3	25.6	2994
	$\frac{S_y}{y}$	30.3	93.1	216.3	332.2	452.4	543.2	483.2	381.2	226.2	99.4	37.6	20.8	2916
% avvikelse													+2.7	
Ultuna	r	.76	.75	.76	.85	.83	.83	.81	.80	.79	.81	.76	.72	
	S_x	17.8	44.8	89.5	137.2	171.3	181.2	166.2	138.1	93.8	54.8	24.4	12.2	
	S_y	24.0	56.8	105.7	157.7	177.9	173.6	168.0	137.8	109.5	69.5	30.6	16.4	
	$\frac{S_y}{x-y}$	35.6	93.4	206.1	329.4	454.5	547.4	482.8	399.0	246.4	123.7	50.3	25.6	2994
	$\frac{S_y}{y}$	30.3	93.1	216.3	332.2	452.4	543.2	483.2	381.2	226.2	99.4	37.6	20.8	2916
% avvikelse													+2.7	
Stock- holm	r	.71	.77	.76	.81	.81	.84	.84	.80	.75	.75	.75	.75	
	S_x	15.2	36.9	74.9	115.4	153.1	167.0	154.1	118.6	77.8	46.0	20.0	9.6	
	S_y	19.4	51.8	95.3	141.4	165.5	164.6	167.0	137.6	102.5	60.7	26.8	12.4	
	$\frac{S_y}{x-y}$	32.3	81.1	183.8	209.2	424.9	508.8	434.7	356.0	222.8	114.1	45.9	22.0	2717
	$\frac{S_y}{y}$	28.9	79.2	195.2	308.3	443.5	526.1	446.0	362.3	221.7	103.3	38.3	20.1	2773
% avvikelse													-2.0	
Tors- landa	r	.69	.74	.63	.83	.81	.79	.80	.76	.76	.77	.79	.77	
	S_x	14.3	30.3	60.5	86.1	102.6	116.4	194.8	86.9	61.1	35.9	16.9	10.3	
	S_y	26.5	54.7	106.2	150.3	174.5	173.8	173.9	134.3	107.5	72.3	34.2	18.9	
	$\frac{S_y}{x-y}$	44.5	97.4	199.9	306.6	402.0	473.2	434.6	364.7	243.6	129.4	59.4	34.1	2789
	$\frac{S_y}{y}$	30.5	80.8	197.0	310.1	420.1	511.9	461.5	379.7	235.0	106.8	42.4	23.1	2799
% avvikelse													-0.4	
Visby	r	.69	.75	.77	.82	.80	.78	.80	.77	.74	.74	.72	.76	
	S_x	15.4	34.1	75.9	113.5	155.0	164.0	153.2	118.7	78.2	46.5	19.2	11.0	
	S_y	21.0	53.4	98.4	143.2	173.1	153.5	168.7	130.2	103.2	65.4	29.9	13.8	
	$\frac{S_y}{x-y}$	39.1	89.1	194.8	313.2	441.2	539.1	465.2	377.9	245.0	128.9	54.1	29.4	2917
	$\frac{S_y}{y}$	33.3	85.4	216.4	340.1	481.2	569.8	491.2	388.3	244.6	117.9	42.7	23.4	3034
% avvikelse													-3.9	
Svalöv	r	.78	.75	.76	.81	.80	.80	.78	.76	.75	.81	.69	.75	
	S_x	15.3	31.0	61.5	80.4	140.4	112.1	99.1	85.1	61.3	37.6	18.1	11.9	
	S_y	26.5	58.2	107.3	144.7	168.0	163.7	156.3	126.3	98.4	72.2	33.7	20.4	
	$\frac{S_y}{x-y}$	53.9	107.9	196.8	314.3	391.9	479.7	427.5	372.8	254.7	144.2	71.2	42.9	2858
	$\frac{S_y}{y}$	36.0	86.7	189.5	312.1	426.5	493.5	416.5	360.0	231.4	115.5	48.6	27.9	2744
% avvikelse													+4.1	
Bull- tofta	r	.75	.77	.81	.79	.83	.78	.80	.76	.76	.80	.73	.81	
	S_x	14.3	29.9	54.8	76.8	103.1	107.1	99.0	80.9	54.7	35.2	16.8	11.1	
	S_y	25.6	62.9	109.8	143.7	168.6	161.1	153.0	125.0	105.8	73.3	35.3	22.4	
	$\frac{S_y}{x-y}$	53.1	107.7	204.7	321.2	428.9	479.2	447.8	391.2	257.2	143.4	71.3	42.5	2948
	$\frac{S_y}{y}$	34.8	87.2	188.4	330.3	446.4	494.2	457.4	401.6	244.1	115.3	49.2	28.8	2878
% avvikelse													+2.4	

3. Utförd datorbearbetning

Dagliga värden på potentiell evapotranspiration har beräknats dels enligt Penman (E_p), dels enligt W Johansson (E_j). Detta har gjorts för perioden 1961-78/79 för 152 svenska stationer för vilka observationer av molnmängd, vindhastighet, lufttemperatur och luftfuktighet kl 07, 13 och 19 finns tillgängliga. Dessutom har data angående uppmätt nederbörd (P) utnyttjats liksom snödjupsdata.

Datorutskrifterna har bestått av tabeller, där för varje år skrivits ut månads- och årssummor av E_p , E_j , $E_p - E_j$ samt $E_p - P$. Medeltal och standardavvikelser för månads- och årssummor avseende hela perioden liksom extremvärden har också beräknats.

En viktig fråga beträffande Penmans formel som tidigare ej berörts, är vilka värden på reflexionskoefficienten som bör användas. Formeln har framtagits för kortväxt grön växtlighet. För gräs gäller värdet 20, för sädesslag 25, för potatis 20, för ängsmark 10 och för skog 12%. Formeln är mycket känslig för vilka albedovärden som väljs. Några olika värden på reflexionskoefficienten har prövats. Då marken är snöfri har värdena 25 och 12% prövats. När marken är snötäckt till mer än 50% och snödjupet är minst 4 cm har albedovärdena 50 och 75% prövats.

Två exempel ges nedan på vilka skillnader man kan erhålla, i medeltal för hela perioden, genom att använda olika albedovärden.

Tabell 4

Jämförelse mellan E_p värden beräknade med olika albedovärden. E_p har erhållits med albedovärdena 12 resp 50 (snötäcke). E_p har erhållits med albedovärdena 25 resp 75 (snötäcke). Medeltal för perioden 1961-78.

Station: Visby	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	År
$E_p - E_j$ mm	0.8	1.2	3.8	9.6	16.6	22.4	20.6	16.6	9.5	4.7	1.2	0.6	108
E_p / E_j %	112	113	118	120	119	119	119	120	120	124	116	111	119
Station: Bromma													
$E_p - E_j$ mm	0.4	0.8	3.7	9.1	16.4	21.7	19.6	15.7	8.7	3.9	1.0	0.5	102
E_p / E_j %	119	115	123	121	119	118	118	120	122	130	159	-	120

Värdena ovan visar att en sänkning av reflexionskoefficienten från 25 till 12 ger 20% högre E_p -värden. Variationerna mellan olika årssummor är obetydlig. För Bromma varierar kvoten E_p / E_j för årssummorna av potentiell avdunstning endast mellan 1.18 och 1.21, för Visbys del mellan 1.18 och 1.20. E_p -värdena ovan är baserade på uppskattade värden av globalstrålningen.

Vad beträffar val av albedovärden skulle man kunna tänka sig att välja olika värden för olika stationer. Man skulle kunna välja 20 eller 25 för stationer belägna i typiska jordbruksbygder och värdet 12% för skogsbygder. Så har emellertid ej skett. Eftersom Sveriges yta till drygt 50% är täckt av skog har valts att här redovisa E_p -värden beräknade med albedovärdet 12% för snöfria dygn och 50% för dygn med snötäcke över 3 cm.

En redovisning lämnas även av den jämförelse som gjordes mellan E_p -värden beräknade från uppmätta strålningsdata och från uppskattade.

Tabell 5a

Jämförelse mellan årssummor av pot. avdunstning E_p beräknade från skattade strålningsvärden och uppmätta.
Kvoten $E_p(s)/E_p(m)$ ges.

	Malnö	Lund	Torslanda	Visby	Karlstad	Bronna	Uppsala	Frösön	Umeå/Teg	Luleå	Kiruna
1961	-	1.09	1.12	0.95	-	1.01	-	1.28	-	-	-
62	-	1.08	1.02	0.92	0.91	0.95	-	0.94	-	0.95	-
63	-	-	1.05	0.88	1.01	1.01	-	0.98	-	0.96	0.88
64	-	-	1.02	0.92	1.02	0.97	-	0.90	-	0.97	0.99
65	-	1.04	-	0.89	1.03	0.97	-	1.07	-	0.97	-
1966	1.04	1.05	0.95	0.97	-	0.95	-	0.98	0.96	0.95	0.97
67	-	1.07	1.11	1.00	1.05	0.97	-	0.90	0.94	-	0.97
68	1.12	-	0.95	0.92	0.90	0.93	-	0.85	0.89	0.86	-
69	1.05	1.01	0.93	1.09	1.08	0.96	-	0.90	0.90	1.01	1.22
70	-	-	1.01	1.03	0.98	0.95	0.85	0.97	0.99	-	1.08
1971	0.94	-	0.93	0.97	1.04	0.97	0.89	0.90	0.98	1.02	1.02
72	0.94	1.07	0.94	0.95	1.08	0.99	0.96	0.98	-	1.00	1.10
73	1.04	0.89	0.88	0.92	1.09	0.99	0.88	0.97	-	-	1.04
74	1.02	-	0.87	0.94	-	0.97	0.89	0.95	0.90	0.98	1.04
75	1.00	-	0.95	0.98	1.10	0.98	0.94	1.02	0.91	0.89	1.02
1976	-	1.06	1.00	0.97	1.12	-	-	1.01	0.89	0.88	0.94
77	1.05	1.13	-	0.94	1.08	0.99	0.95	1.02	0.98	-	0.97
78	1.00	1.06	-	1.00	1.09	0.98	1.02	-	1.02	-	0.99
Medelv.	1.02	1.05	0.98	0.96	1.04	0.97	0.92	0.97	0.94	0.95	1.02
Standarddev	0.05	0.06	0.07	0.05	0.07	0.02	0.05	0.08	0.05	0.05	0.08

I tabell 5a ges för varje år och för 11 stationer kvoten mellan $E_p(s)$ (=skattade värden på globalstrålning R har använts) och $E_p(m)$ (=uppmätta värden på R har använts).

Enligt tabell 5a tycks användningen av molnmängdsobservationer för beräkning av instrålningen i allmänhet ge något lägre E_p -värden än då uppmätta strålningsdata finns tillgängliga. Största underskattningen, 8% visar data från Uppsala. Största överskattningen 5% visar data från Lund.

Tabell 5b

Jämförelse mellan månadsmedelsummor av E_p (s) och E_p (m) för perioden 1961-78.

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	År
Visby E_p (s)/ E_p (m)	1.15	1.08	0.90	0.90	0.91	0.94	0.95	0.97	1.00	1.12	1.30	1.15	0.96
E_p (s)- E_p (m) mm	1.0	0.8	-2.7	-6.3	-10.6	-8.3	-7.6	-3.2	-0.2	2.7	2.0	0.8	-31.4
Bromma E_p (s)/ E_p (m)	1.25	1.11	0.94	0.93	0.95	0.97	0.97	0.98	1.00	1.16	1.80	0.33	0.97
E_p (s)- E_p (m) mm	0.5	0.6	-1.2	-4.1	-5.5	-4.7	-3.4	-2.3	-0.1	-2.3	-1.2	-0.4	-16.1

Man kan knappast påstå att användningen av skattade strålningsvärden allvarligt påverkar E_p -värdena. Osäkerheten i metoden som sådan och osäkerheten^p beträffande övriga meteorologiska parametrars representativitet är lika stor.

Fuktighetsobservationerna är behäftade med vissa fel pga otillfredställande instrument. Vid vissa stationer har fuktigheten bestämts med hårhygrometrar, vid övriga med ventilerad torr och våt termometer. På stationskartan, fig 2, har markerats den senare kategorin stationer. Där har även markerats vilka stationer som har vindmätare.

Penmans formel är känslig för vindhastigheten (se följande avsnitt) och denna är på flertalet stationer ej uppmätt utan (se stationskartan) uppskattad. Enligt Penman skall vindhastigheten avse en nivå 2 m ovan vegetationsytan. Eftersom albedovärde gällande skog har valts borde vindhastigheten ca 2 m ovan trädtopparnas nivå användas i stället för 80% av vindhastigheten på 10 m-nivån. Osäkerhetsfaktorerna och frågetecknen är många och resultaten som presenteras i det följande bör bedömas som mycket grova uppskattningar av maximal evapotranspiration.

4. Känsligheten hos Penmans formel för fel i de ingående parametrarna.

I tidigare avsnitt har visats att en ändring av albedovärdet från 0.25 till 0.12 ger en ökning av potentiella avdunstningen med ca 20%. En ändring av albedovärdet med 10%-enheter är liktydigt med en förändring av globalstrålningen med 12.5%.

En undersökning har gjorts av hur fel i vindhastigheten och relativa fuktigheten påverkar Penmanvärdena. Följande värden, som gäller medeltal för juni månad i Stockholm, antogs vara korrekta utgångsvärden:

Globalstrålning:	515 cal/cm ² dygn
Dygnsmedeltemp:	15 °C
Mättnadsångtryck:	17.0 mb
Relativ fuktighet:	66% (rådande ångtryck 11.0 mb)
Vindhastighet:	5 m/s

Dessa värden ger en potentiell avdunstning under en junimånad av 131 mm för en gräsyta med albedo 0.20. Ett fel på vindhastigheten av 1 m/s, medan övriga värden är oförändrade, ger ett värde på den potentiella avdunstningen som avviker från ovan angivna med ca 11%. Systematiska fel i vindhastigheten större än 1 m/s kan säkert förekomma. Dels kan observatören systematiskt över- eller underskatta vindstyrkan, dels kan observationsstationen ha ett läge som ej är representativt för områdets vindklimat.

Ett systematiskt fel på relativa fuktigheten av +5%-enheter ger ett ca 9% för lågt Penmanvärde. Sådana fel kan förekomma.

Om vindhastigheten systematiskt är 1 m/s för lågt uppskattad och fuktighetsinstrumentet visar 5%-enheter för högt blir felet vid beräkningen av Penmanvärdet med de givna förutsättningarna ca 18%.

Även om fel i globalstrålningen och val av relevant albedovärde har största betydelsen för noggrannheten vid beräkningen av potentiell avdunstning kan således fel i vind- och fuktighetsdata väsentligt påverka resultaten.

Häggström gjorde 1973 en undersökning av effekten av fel hos parametrarna i Penmans formel. Hans resultat stämmer ej så väl med ovan angivna resultat. Orsaken till detta kan vara att han i sitt material hade mycket låga vindhastigheter. Månadsmedelvärdena av vindhastigheten låg mellan 0.5 och 1.8 m/s medan i exemplet ovan valts vindhastigheten 5 m/s.

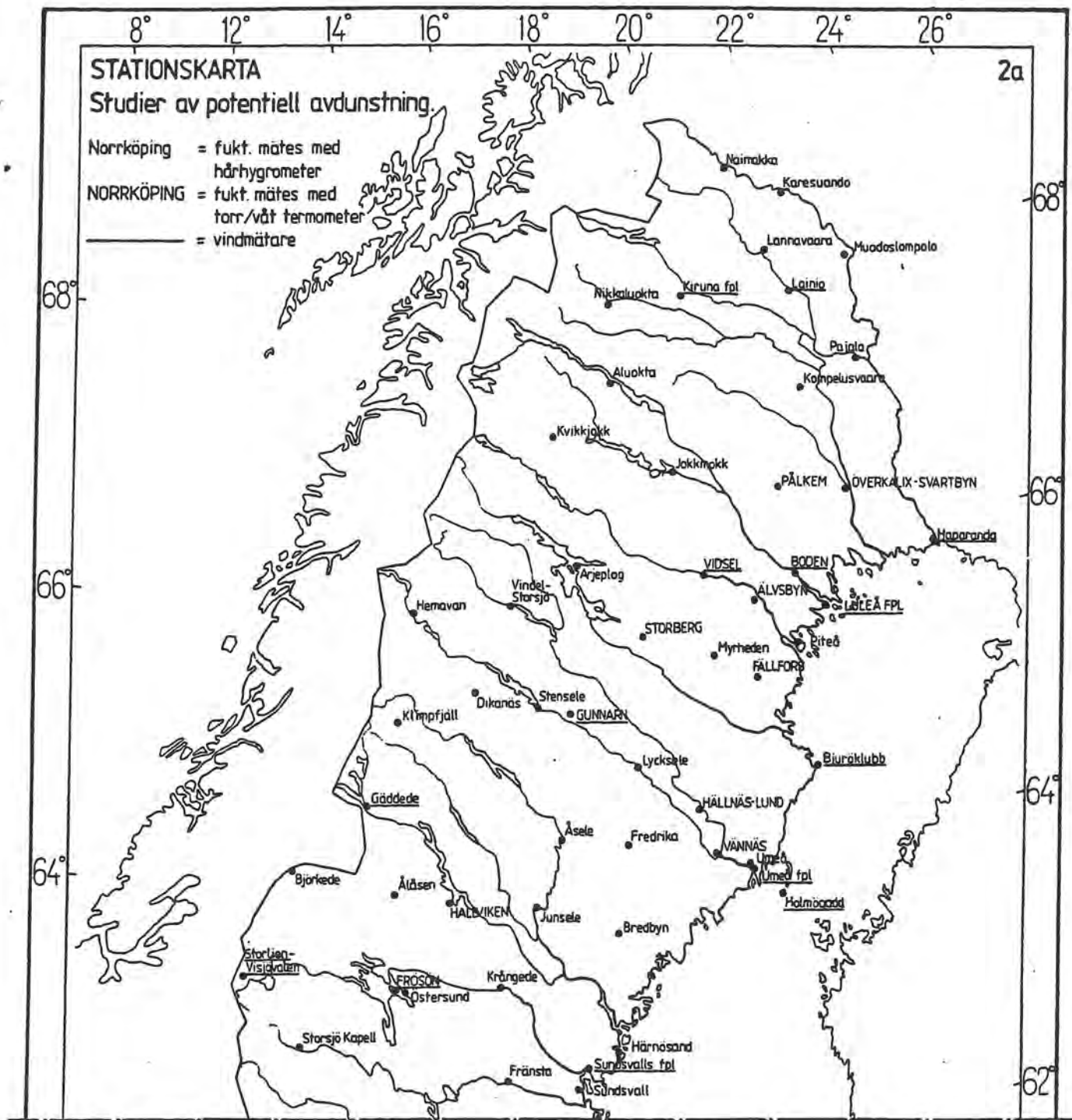
Häggströms beräkningar avsåg Sjöängen i Velenområdet i Västergötland. Några av hans beräkningar från 1971 citeras nedan och jämförs med beräkningar utförda för närmast belägna synoptiska station som är Fägre. Häggström använde olika metoder för att bestämma värdena på de i Penmans formel ingående variablerna.

Metoden som han kallar Penman IV använde sig av kontinuerligt uppmätt globalstrålning och värdena på lufttemperatur, ångtryck och vindhastighet beständes från automatisk instrumentavläsning varje halvtimme. Molnmängden bestämdes från registreringar av solskenstiden. I metod V användes strålningsbalansmätningar, som utförts över gräsmatta. Metod VI använde i stället strålningsbalansmätningar utförda över skog i en mast 34 m över markytan.

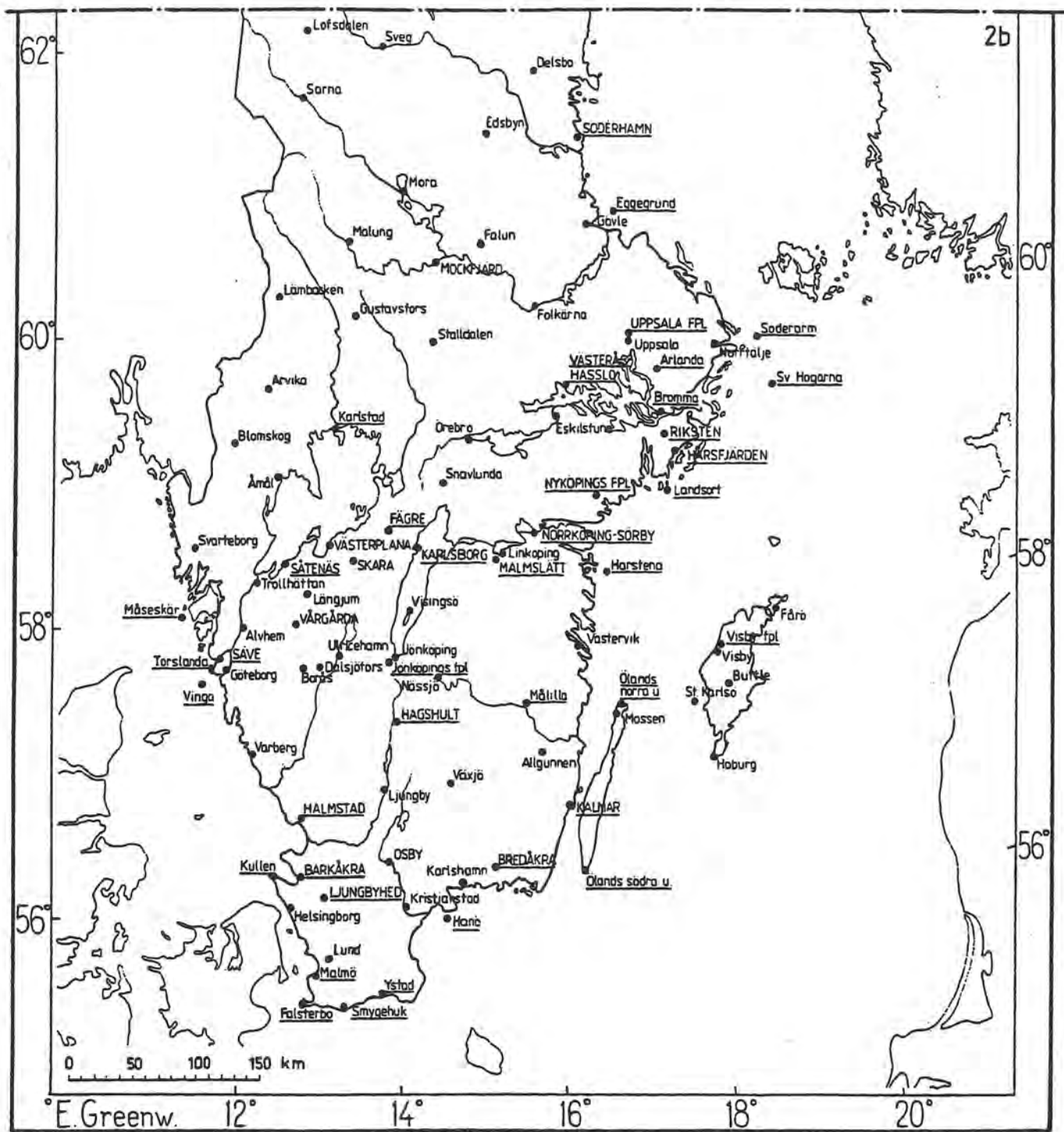
Följande avdunstningsvärden för 1971 har erhållits. Enheten är mm/mån.

Månad	Metod	Penman			Fägre 0.12	Uppmätt	
	Albedo	IV 0.20	V gräs	VI skog		GG1- 3000	Class A Pan
juli		85	86	122	113	88	100
aug		54	57	90	80	57	62
sept		18	25	38	40	40	34
okt		4	12	22	18	-	-
Summa		161	180	272	251		

Man ser av dessa värden att albedovärdet 0.20 stämmer ganska väl (möjligen något för högt) med strålningsbalansmätningar över gräs. Att skog har betydligt lägre albedo framgår tydligt. Om man jämför beräkningarna för Fägre med albedovärdet 0.12 med beräkningarna enligt metod VI, där strålningsbalansmätningar använts, finner man tämligen god överensstämmelse. Fägres värden ligger för 4-månaders-perioden 8% lägre än summan för Sjöängen (skog). Fägre ligger nästan 2 mil SW om Sjöängen, och strålningsbalansen har för Fägres del beräknats från molnighets- och temperaturdata. Överensstämmelsen mellan beräknade Penmanvärden och värden erhållna med evaporimetrar är ej särskilt god bortsett från septembervärdena som nästan är helt lika.



Figur 2a. Stationskarta, norra Sverige



Figur 2b. Stationskarta, södra Sverige

5. Presentation av beräkningsresultat

I det följande redovisas endast \bar{E}_p -värden som beräknats med albedovärdena 12 resp 50%.

5.1 Jämförelse mellan avdunstningsvärden enligt Johansson och enligt Penman.

För ett fåtal stationer görs i tabell 6 en jämförelse mellan månads- och årsmedelvärden av differensen $\bar{E}_p - \bar{E}_j$.

Johanssons formel är härledd för en enda plats, Ultuna, med hjälp av endast ett sommarhalvårs data. Därför kan man inte förvänta sig att formeln skall ge goda värden under vinterhalvåret och för andra orter. Ser man på värdena för Uppsala i tabell 6, så finner man att överensstämmelsen för sommarmedelvärdena är mycket god. Även för många andra orter är överensstämmelsen från maj till augusti god. Det är också under denna tid som de potentiella evapotranspirationsvärdena är av störst intresse. Under vinterhalvåret ger Johanssons formel genomgående per månad 8-17 mm högre värden än som erhållits enligt Penman. Att Johanssons formel under vintern ger för höga avdunstningsvärden är ganska självklart då regressionskoefficienterna har härletts från ett sommarhalvår och gäller för albedovärden på cirka 0.20. Att då använda denna formel för dygn med snötäckt mark är uppenbarligen helt orimligt. Nu vet man emellertid inte vad som är sanning, dvs vilken avdunstning som maximalt är möjlig under vinterhalvåret.

Johanssons formel är enkel att använda och tar i beaktande de tre meteorologiska faktorer, som måste vara de viktigaste, nämligen strålningsenergi, vindhastighet och ångtryckets mättnadsdeficit. Det borde vara av intresse att fastställa regressionskoefficienterna ekv (2) med större statistisk precision och studera eventuella regionala variationer hos de tre regressionskoefficienterna.

Därmed skulle Johanssons formel kunna bli ett attraktivt alternativ till Penmans formel för studier av möjlig maximal avdunstning under vegetationsperioden.

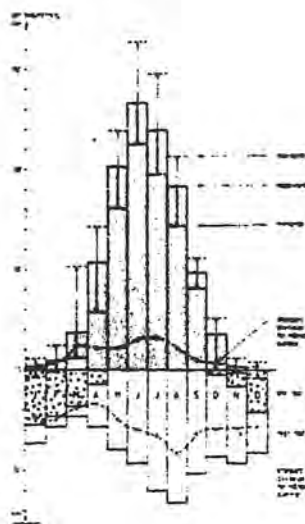
Någon ytterligare redovisning av beräkningsresultat enligt Johanssons formel görs ej.

5.2 Värden enligt Penmans formel

Medelvärden för månader och år av den potentiella evapotranspirationen redovisas i kartform samt i tabell 7. Högsta och lägsta värden som erhållits för den studerade perioden anges i tabell 8, som också anger standardavvikelsen. I figur 2 ges en stationskarta, som visar läget av de stationer som ingått i undersökningen. På stationskartan har markerats vilka stationer som observerar fuktigheten med ventilerad torr och våt termometer. Dessutom anges vilka stationer som är utrustade med vindmätare. Beträffande stationernas koordinater hänvisas till SMHI:s årsbok "Nederbörden i Sverige".

Tabell 8 ger information om spridningen hos E_p -värdena mellan olika år. Någon kartframställning har ej gjorts av högsta resp lägsta E_p -värdena. Standardavvikelse har ej heller redovisats i kartform. Standardavvikelse är en funktion av E_p , dvs de visar en årlig variation. Under nov-febr, är standardavvikelsen i allmänhet 1-3 mm, under sommarmånaderna i regel 10-15 mm. Det innebär att medeltalens medelfel under vintern är ca 0.5 och under sommaren 2.5-3.5 mm.

I figur 3 ges ett exempel för en station, Norrköping, där den årliga variationen av E_p ges, och där även de högsta och lägsta värdena lagts in liksom standardavvikelsen. I diagrammet har också redovisats: normal månadsnederbörd samt månadsnederbördens standardavvikelse. Det kan noteras att månadsnederbörden visar betydligt större varians än vad E_p -värdena gör. T.ex är standardavvikelsen 11 mm i aug för E_p men nästan tre gånger så stor för nederbördssummorna.



Figur 3. Potentiell avdunstning i NORRKÖPING (medel, max o min) samt nederbördsmängd månadsvis.

5.2.1 Kommentarer till månadskartor över E_p

Kartorna, fig 4-15, ger medelvärden av E_p för albedovärdena 12 (50) %. Isolinjer har dragits även över sjöar och kustområden trots att E_p ej avser avdunstning från vattenytor. Penmans formel ger hyggliga skattningar av avdunstningen från en vattenyta, men då skall andra albedovärden användas. Följande reflexionskoefficienter bör användas för vattenytor:

Liten molnighet:	solhöjd	60°	albedo	5%
	"	30°	"	10%
	"	20°	"	15%
	"	10°	"	35%
	"	5°	"	60%
Stor molnighet:	högt solstånd		albedo	5%
	lågt "		"	10%

Av dessa siffror framgår att avdunstningen från vattenytor är större än de värden som framgår av kartor och tabellerna 7 och 8.

Om man tror att Penmans formel kan användas på vintern gäller att den potentiella avdunstningen under månaderna nov, dec, jan och febr är nära 0 i Svealand och Norrland. Vid kuststationerna och i fjällen erhålles värden större än 1 mm, vid

TABELL 6

Differensen i mm mellan medelvärden av pot. avdunstning enligt Penman och enligt W. Johansson. Period 1961-78. Minustecken betyder att Johanssons formel ger högre värde än Penmans.

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AR
Kiruna	-8	-12	-22	-32	-23	3	7	-2	-14	-17	-9	-8	-136
Arjeplog	-9	-13	-23	-31	-13	10	15	6	-13	-17	-10	-9	-107
Stensele	-8	-12	-21	-26	3	19	20	9	-7	-16	-10	-8	-57
Luleå/kallax	-9	-13	-23	-30	-8	-3	-3	-7	-14	-20	-12	-9	-152
Haparanda	-9	-12	-23	-29	-6	5	5	-2	-12	-18	-11	-10	-122
Frösön	-10	-13	-23	-19	6	14	15	4	-10	-18	-14	-11	-79
Asele	-9	-14	-24	-29	4	12	14	9	-8	-16	-11	-9	-81
Lycksele	-10	-13	-25	-29	0	15	20	10	-6	-17	-11	-10	-76
Härnösand	-12	-15	-25	-18	10	21	24	11	-7	-20	-17	-13	-61
Sundsvalls fpl	-11	-15	-25	-22	-4	-3	-0	-6	-13	-22	-15	-11	-149
Söderhamn	-16	-17	-28	-26	-2	2	7	1	-13	-22	-17	-13	-144
Arvika	-12	-15	-21	-5	18	27	29	18	-3	-15	-15	-14	-8
Karlstad fpl	-12	-14	-22	-9	3	8	9	3	-12	-21	-18	-16	-102
Falun	-12	-15	-22	-10	8	14	18	9	-6	-16	-14	-12	-57
Örebro	-12	-14	-21	-7	13	26	27	14	-7	-19	-18	-15	-29
Västerås/Hässlö	-12	-14	-21	-9	-1	5	9	0	-12	-20	-18	-14	-107
Gävle	-13	-14	-23	-13	0	2	5	-1	-12	-21	-17	-13	-116
Uppsala	-13	-14	-22	-12	-7	-3	1	-2	-13	-20	-17	-13	-134
Bromma	-13	-14	-20	-10	-4	-4	-2	-5	-14	-21	-19	-15	-139
Torslanda	-14	-13	-17	-8	0	2	6	0	-13	-20	-20	-17	-114
Sätenäs	-14	-14	-20	-8	3	8	12	2	-10	-19	-19	-16	-94
Skara	-12	-14	-18	-4	8	15	19	10	-4	-14	-15	-14	-44
Dalsjöfors	-11	-13	-19	-8	11	18	23	14	-3	-12	-12	-12	-23
Snavlunda	-13	-15	-22	-10	7	15	17	11	-6	-17	-16	-15	-63
Hässjö	-11	-14	-21	-10	8	17	20	13	-5	-15	-13	-12	-41
Ljungköping	-14	-15	-21	-9	3	4	9	1	-11	-19	-18	-16	-106
Norrköping	-14	-15	-23	-10	1	3	8	0	-12	-20	-18	-16	-115
Västervik	-14	-15	-21	-5	12	24	24	13	-5	-18	-19	-16	-39
Visby	-14	-14	-19	-10	-5	-4	-3	-8	-16	-22	-21	-17	-154
Halmstad	-14	-14	-16	-6	3	14	19	6	-6	-15	-18	-16	-61
Ljungby	-12	-13	-16	-5	-1	-3	8	4	-6	-12	-13	-12	-81
Ljungbyhed	-12	-13	-14	-4	4	12	18	9	-5	-14	-17	-15	-52
Lund	-11	-12	-12	-3	10	15	19	7	-6	-14	-17	-15	-42
Växjö	-12	-14	-18	-5	7	18	23	15	-2	-12	-13	-13	-23

TABELL 7 forts.

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AR
Särna	0	2	7	22	80	115	104	77	37	8	0	0	450
Sveg	1	2	10	28	85	120	112	80	39	11	1	0	487
Edsbyn	1	2	13	40	93	128	115	84	41	11	0	0	528
Frånsta*	-1	1	7	30	83	114	105	74	34	7	-1	-1	425
Delsbo	-1	2	9	30	82	116	104	75	34	7	-2	-1	454
Härnösand	-2	0	7	29	81	118	109	82	36	8	-3	-3	462
Sundsvalls fpl	1	3	11	35	92	129	120	87	41	12	2	1	535
Sundsvall	-1	2	11	37	87	125	117	81	37	7	-2	-2	472
Söderhamn	1	1	12	38	83	118	107	80	36	10	0	0	485
Långbacken	0	2	9	33	90	124	115	82	40	12	-1	-2	501
Arvika	0	3	14	47	98	132	120	89	43	13	0	-3	549
Blomskog*	1	4	15	49	100	139	125	94	47	15	1	-1	551
Amål*	2	6	18	55	110	148	139	104	53	18	4	1	657
Malung	0	2	9	31	88	122	111	80	40	12	0	-1	493
Mora	0	2	11	38	89	120	107	80	38	10	0	-1	491
Gustavsfors/Knon	0	2	10	39	93	127	113	82	39	12	0	-1	515
Karlstad fpl	4	7	20	58	112	149	138	104	54	19	5	2	671
Mockfjärd*	1	2	13	37	85	115	110	81	43	15	4	-1	466
Ställdalen	1	3	11	40	97	130	115	86	41	12	1	-1	535
Falun	0	2	12	40	85	115	110	76	36	11	0	-1	485
Örebro-Ekeby*	2	5	16	48	98	130	117	88	42	13	0	-1	552
Folkärna*	-1	2	10	35	82	112	112	80	41	11	-1	-2	480
Västerås-Hässlö	2	5	17	51	101	133	119	91	45	15	2	0	580
Eskilstuna*	2	6	18	50	104	134	121	91	46	16	2	0	587
Äggegrund	8	10	22	45	83	117	114	89	51	22	9	7	577
Gävle	3	5	14	45	92	128	116	83	43	13	2	1	535
Uppsala fpl	2	4	14	47	96	127	113	84	43	14	1	0	545
Uppsala	2	5	16	47	94	126	110	82	41	13	1	0	537
Arlanda*	2	5	18	52	105	142	126	92	46	15	2	0	596
Bromma	3	6	20	53	104	139	127	95	48	17	3	0	614
Riksten	1	4	13	45	95	130	112	85	42	13	1	-1	539
Norrkläje*	3	5	14	42	90	125	114	84	41	14	2	1	511
Härsfjärden	2	4	12	42	89	123	112	83	41	13	1	-1	520
Söderam	13	12	23	43	80	116	114	91	55	28	14	12	600
Svenska Högarna	11	12	22	44	83	118	116	90	53	25	12	11	597
Svarteborg*	3	7	21	53	97	120	116	87	49	19	5	1	576
Måseskär	8	12	30	60	100	125	125	101	63	31	11	6	628
Säve	4	10	25	58	102	127	122	94	54	22	5	1	623
Torslanda	7	12	31	63	108	135	132	104	63	29	12	6	701
Vinga	10	13	31	60	100	128	125	102	64	31	12	6	625
Sätenäs	3	7	20	52	97	123	118	89	50	19	4	1	582
Alvhem*	2	7	21	50	92	117	111	93	45	19	4	0	549
Trollhättan	4	9	23	57	100	126	119	91	50	19	5	2	594
(Värgårda-Hägrunga*)	2	3	17	44	90	111	88	81	41	13	0	-2	400
Varberg	2	6	22	53	96	119	117	91	49	17	6	1	598
Västerplana*	3	7	16	48	96	122	117	89	47	16	2	0	563
Långjum*	2	3	17	47	90	116	109	82	43	14	1	-1	524
Skara	2	5	17	50	94	118	113	84	45	17	2	0	519
Dalsjöfors	3	5	16	44	89	113	106	81	43	17	4	1	521
Borås	2	5	18	48	92	117	109	82	45	18	5	2	537
Ulricehamn	2	6	16	44	90	113	105	80	43	16	4	1	522
Snavlunda	1	5	16	44	93	125	112	85	43	15	2	0	539
Fägre*	2	4	16	48	98	128	111	86	43	15	3	0	495
Karlsborg	4	7	18	51	92	125	115	89	48	19	5	2	574
Visingsö*	5	8	21	49	90	122	114	91	53	22	7	5	584
Jönköpings fpl*	3	5	19	50	102	134	124	95	50	19	6	3	609
Jönköping	4	8	21	54	96	126	97	88	48	20	6	3	569
Nässjö*	2	5	15	44	96	122	104	86	44	14	3	2	536
Hagshults fpl	1	4	16	47	90	114	104	79	40	13	1	-1	502
Malmshätt	2	6	19	52	96	129	117	90	49	18	3	1	582
Ljungköping	1	5	18	54	102	135	120	94	49	18	1	0	593
Mällilla*	1	4	17	48	96	127	114	90	45	15	2	0	551
Allgunnen	1	6	18	50	96	126	112	87	47	15	2	0	554
Norrköping-Sörby	2	5	19	54	102	134	120	92	49	18	2	0	596
Norrköpings fpl	2	5	16	47	95	130	116	89	46	17	2	1	563
Västervik	2	7	20	49	95	127	117	92	50	17	3	0	578
Mossen (Böda)*	8	10	25	57	102	142	130	101	57	24	9	6	671
Lendsort	13	15	28	53	92	130	122	99	60	29	14	12	656
Härstena	12	13	27	54	95	133	126	103	61	29	13	11	676
Fårö*	11	12	25	51	90	130	127	104	60	28	11	7	616
Visby fpl	8	11	24	57	104	141	132	101	57	25	9	6	673
Visby	9	12	25	55	100	135	127	100	60	26	11	8	667
Ölands n. udde	15	18	33	59	101	141	135	109	68	33	16	12	716
Stora Karlsö*	12	14	25	51	93	127	126	104	64	31	15	11	672
Buttle*	2	4	16	49	94	133	124	92	45	16	3	-1	552
Halmstad	4	9	25	53	100	118	114	92	54	22	6	1	585
Kullen	12	16	33	62	103	126	126	104	70	35	18	10	715
Barkåkra	5	10	27	60	102	119	115	92	55	23	8	3	618
Helsingborg	6	10	27	57	96	119	116	94	57	23	7	3	602
Falsterbo*	9	15	31	57	98	123	124	103	64	30	12	7	568
Ljungby	4	8	23	45	101	125	118	91	51	22	7	3	607
(Osby)	3	7	22	51	90	110	112	79	44	18	6		

TABELL 8

MAX- och MIN-värden för den potentiella avdunstningen i mm (enligt Penmans formel) från en vegetationsyta med albedo 0.12 (0.50 för snöyta). DEV = standardavvikelsen

Station (nr och namn)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AP	
026 17879	MAX	5	8	10	24	77	145	129	86	31	18	3	10	452
Aluokta	MIN	-3	-1	1	9	44	106	86	62	22	3	-2	2	387
1970-78	DEV	3	3	3	6	10	12	12	8	3	5	2	3	132
036 17995	MAX	9	7	12	19	67	120	108	69	32	16	5	9	382
Nikkaluotta	MIN	-2	-1	2	4	17	89	83	55	16	2	-1	-1	246
1965-79	DEV	2	2	3	4	14	9	8	4	4	4	1	3	55
044 18094	MAX	10	14	16	26	93	142	133	95	41	13	6	8	475
Kiruna fp1	MIN	-2	-1	0	8	21	96	90	56	23	8	0	1	330
1961-78	DEV	3	4	4	5	19	12	10	8	5	3	2	3	41
060 18180	MAX	3	5	7	13	52	118	109	73	28	9	2	4	361
Saimmaka	MIN	-2	-1	0	5	17	86	78	55	17	0	-1	-2	284
1965-78	DEV	1	2	2	3	11	10	9	5	3	2	1	1	24
080 19283	MAX	6	3	6	14	79	132	125	78	28	9	4	4	403
Karesuando	MIN	-2	-2	-1	1	20	89	0	52	20	-2	-3	2	296
1961-78	DEV	2	1	2	3	14	13	11	8	3	3	2	2	48
084 19271	MAX	2	3	7	16	66	148	134	85	28	11	1	2	435
Lannavaara	MIN	-2	-2	-1	6	23	96	92	59	18	-1	-2	-3	322
1965-78	DEV	1	1	2	3	14	13	13	8	3	3	1	1	35
086 18293	MAX	3	10	9	18	71	140	132	83	30	11	3	2	449
Lainio	MIN	-3	-2	1	9	30	95	96	57	20	-1	-3	-3	352
1967-79	DEV	2	3	3	3	12	11	11	7	3	3	2	1	28
088 18272	MAX	3	6	14	21	75	152	138	88	31	14	3	3	466
Kompelussaari	MIN	-2	-1	2	10	32	108	97	64	21	0	-2	-3	380
1965-79	DEV	1	2	3	3	12	11	10	7	3	3	2	2	24
092 18398	MAX	1	1	6	19	73	144	135	82	28	10	1	1	421
Muodaslampola	MIN	-2	-1	1	9	46	36	53	33	19	-2	-3	-3	277
1965-79	DEV	1	1	2	3	9	14	10	16	3	3	1	1	118
096 18376	MAX	1	2	9	18	102	140	133	79	27	6	1	2	428
Pajjala	MIN	-4	-2	0	8	45	101	97	59	16	-3	-6	-5	343
1961-78	DEV	1	1	2	3	16	10	10	5	3	2	1	2	23
104 15594	MAX	7	9	14	21	72	127	104	79	35	17	7	9	441
Henvan	MIN	-1	1	29	12	41	83	80	54	25	6	-2	0	340
1966-79	DEV	3	2	4	3	9	13	8	6	3	3	3	3	34
108 15472	MAX	3	6	10	15	63	122	101	75	30	12	4	3	363
Kilimajoki	MIN	-2	0	2	8	33	45	76	0	22	2	-1	-1	280
1965-78	DEV	1	2	2	2	8	18	7	18	2	3	2	1	33
116 15594	MAX	3	7	13	25	79	137	115	84	34	10	2	3	438
Vindel-Storsjö	MIN	-2	-1	2	8	45	93	84	58	25	3	-2	-5	353
1965-79	DEV	1	2	3	4	10	12	9	7	2	2	1	2	25
118 15568	MAX	4	4	11	21	89	153	127	86	31	11	1	4	444
Siljanäs	MIN	-3	-2	3	11	41	106	67	63	23	1	-4	-7	337
1967-79	DEV	2	2	3	3	13	14	14	8	2	3	2	3	117
120 16798	MAX	9	12	12	19	84	130	121	80	31	11	3	3	427
Kvikkjokk	MIN	-2	-1	1	8	40	94	83	6	22	0	-3	-4	315
1961-78	DEV	3	3	3	4	12	11	9	16	3	3	2	2	29
124 16771	MAX	4	6	16	23	94	147	125	88	38	14	4	6	473
Arjeplog	MIN	-3	-1	2	10	47	99	20	0	13	2	2	-2	340
1961-78	DEV	2	3	4	4	12	13	13	11	7	3	2	2	36
127 15772	MAX	3	3	16	25	93	149	120	84	41	12	4	2	457
Stensele	MIN	-3	-2	2	11	60	92	90	0	26	0	-3	-6	322
1961-78	DEV	1	1	3	3	10	13	7	16	4	2	2	2	36
128 15770	MAX	4	3	17	35	98	158	134	93	42	14	4	9	507
Gunnarn	MIN	-2	-1	2	11	61	98	94	63	27	4	-3	-3	408
1961-79	DEV	2	3	4	5	12	14	10	9	3	3	2	2	32
136 15885	MAX	2	4	4	13	92	137	114	77	28	5	4	4	410
Storberget	MIN	-1	-2	0	4	34	0	96	36	19	-7	-3	-4	226
1961-78	DEV	1	2	1	2	14	13	7	11	3	3	2	2	86
142 16988	MAX	4	8	15	30	98	150	141	98	37	12	4	1	522
Jokkmokk	MIN	-2	-2	2	11	0	101	89	45	0	2	-6	-3	307
1961-78	DEV	2	2	4	5	13	13	12	6	3	2	1	1	56
154 16096	MAX	7	5	13	31	87	136	126	70	25	13	3	4	450
Vidsele	MIN	-3	-1	4	15	59	102	105	67	24	3	-3	2	313
1966-78	DEV	3	2	3	5	8	7	7	3	2	2	2	2	530
156 16079	MAX	1	5	10	21	84	133	114	73	29	6	4	3	421
Årveden	MIN	-3	-3	0	7	51	101	93	61	20	-3	-4	-7	271
1965-78	DEV	1	2	3	5	8	9	7	4	3	2	2	3	51
158 16074	MAX	1	3	12	16	85	119	107	67	31	7	2	2	393
Fällfors	MIN	-3	-3	0	8	37	94	91	56	17	1	-5	-5	169
1961-78	DEV	1	1	3	2	10	7	5	3	3	2	2	2	62
164 17182	MAX	5	4	9	22	76	119	113	75	34	16	5	7	409
Pällken II	MIN	-1	0	0	10	38	99	95	64	21	0	-1	-3	241
1970-78	DEV	2	2	2	4	13	6	8	4	5	5	2	3	65
171 16194	MAX	4	5	12	30	99	120	129	79	37	12	5	4	481
Soden	MIN	-3	-2	0	13	69	103	99	63	25	3	-2	-3	439
1962-79	DEV	2	2	3	5	8	9	8	4	3	3	2	2	97
172 16089	MAX	7	7	12	29	83	133	122	77	33	8	5	4	464
Nivsbym	MIN	-3	-2	3	12	62	106	2	38	19	2	-4	-3	327
1966-78	DEV	3	3	3	6	8	9	12	11	4	2	2	2	123
182 17279	MAX	1	4	9	23	82	129	122	79	28	9	1	1	427
Överkalix	MIN	-4	-2	0	5	43	67	94	22	3	-2	-4	-3	279
1962-79	DEV	1	2	3	4	9	15	7	17	7	3	1	1	78
186 16286	MAX	5	8	13	26	89	133	133	87	38	16	4	5	499
Luleå fp1	MIN	-2	-1	1	13	62	103	100	68	26	0	3	-3	406
1961-78	DEV	2	3	3	4	7	8	9	6	3	3	2	2	24
701 16179	MAX	1	5	12	32	84	126	127	78	38	8	2	6	462
Piteå	MIN	-3	-3	-4	10	55	100	95	62	20	-7	-7	-6	382
1961-79	DEV	1	2	4	6	7	8	9	4	4	4	3	3	21
196 16395	MAX	7	6	16	28	83	127	130	78	39	15	5	8	463
Manaranda	MIN	-3	-2	-1	7	63	72	53	66	24	3	-2	-5	376
1961-78	DEV	2	2	4	5	6	11	15	3	4	3	3	3	24

TABELL 8 forts.

Station (nr och namn)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AP	
200 14203	MAX	3	3	10	16	58	109	99	74	38	16	3	7	381
Björkede	MIN	-2	-1	3	13	41	83	45	38	26	4	-2	-2	311
1973-78	DEV	2	2	3	2	7	12	15	14	4	5	2	3	131
206 13218	MAX	21	13	16	23	84	123	105	92	47	21	14	13	492
Storlien-V.	MIN	1	0	6	11	34	86	79	64	27	7	3	0	371
1963-79	DEV	6	4	3	4									

TABELL 8 forts.

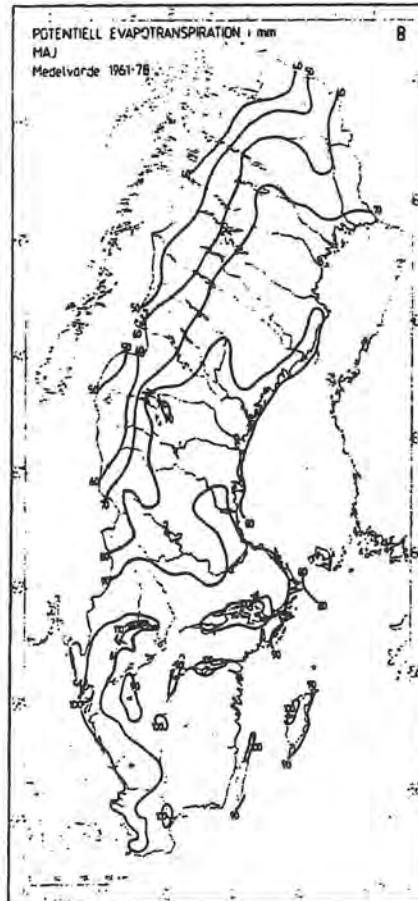
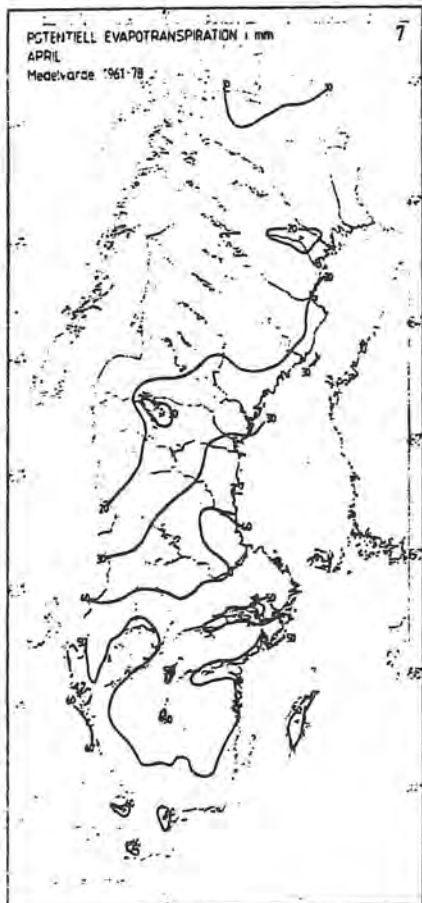
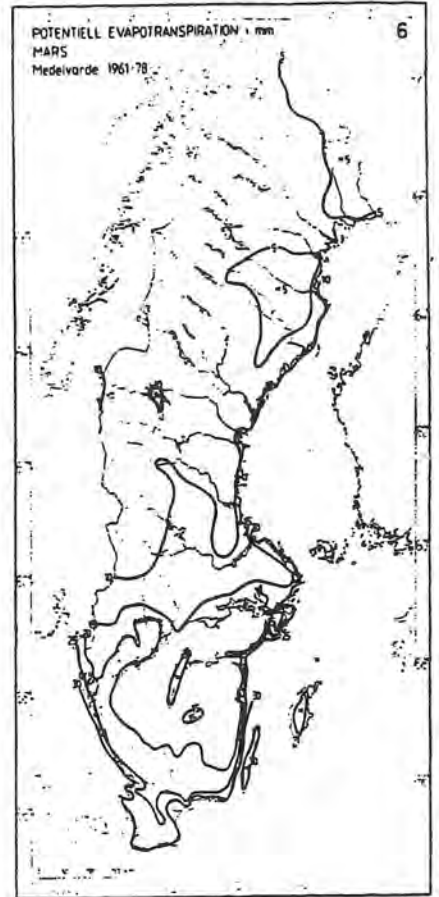
Station (nr och namn)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AR
400 10219 Lämbacken 1961-79	MAX 2	7	23	49	109	154	132	107	47	15	2	2	551
	MIN -3	-1	5	16	64	99	94	66	35	6	-4	-8	448
	DEV 2	2	4	10	12	15	10	10	4	3	2	3	28
404 9240 Arvika 1961-78	MAX 3	8	28	62	124	163	143	113	52	19	5	2	608
	MIN -3	-1	5	20	75	109	0	71	39	8	-5	-12	483
	DEV 2	3	8	12	11	16	13	11	4	3	3	4	39
406 9217 Blomskog 1965-79	MAX 5	10	26	65	124	159	151	112	60	21	7	3	674
	MIN -3	0	7	25	75	113	105	83	39	6	-2	-7	530
	DEV 2	3	6	11	15	13	13	9	6	4	2	3	152
409 9203 Amål 1965-78	MAX 9	13	34	72	128	171	156	121	67	26	15	6	712
	MIN -4	0	6	32	84	121	109	89	43	9	-2	-5	594
	DEV 3	3	7	13	12	15	13	10	6	5	4	3	41
410 10341 Malung 1961-78	MAX 2	8	28	46	106	147	137	102	45	21	3	2	557
	MIN -3	-1	2	15	68	99	91	61	35	5	-5	-7	429
	DEV 2	3	6	11	11	15	12	10	3	4	2	2	33
707 11401 Mora 1961-78	MAX 5	6	26	52	107	136	130	96	46	18	5	2	572
	MIN -4	-3	4	17	72	98	60	69	0	2	-4	-4	355
	DEV 2	2	5	10	9	13	16	8	4	4	3	2	48
412 10309 Gustavsfors 1961-79	MAX 2	5	23	54	110	159	137	107	44	16	3	3	571
	MIN -4	-2	4	18	73	106	90	67	34	5	-3	-5	443
	DEV 2	2	4	12	11	16	13	11	3	3	2	2	31
418 9322 Karlstad 1961-78	MAX 12	19	34	79	137	176	158	128	65	28	10	9	744
	MIN 0	1	10	37	85	128	113	85	47	4	-1	-5	569
	DEV 3	5	8	11	13	15	13	11	4	5	3	4	44
420 10430 Mockfjärd 1963-79	MAX 16	19	32	51	105	142	144	104	52	29	15	12	596
	MIN -3	-3	2	16	64	93	88	70	36	6	-3	-7	435
	DEV 8	7	9	10	13	14	15	10	6	7	5	7	139
424 9458 Ställdalen 1961-78	MAX 5	7	17	66	121	161	136	111	52	19	4	6	591
	MIN -3	-1	7	19	74	101	92	67	36	-1	-2	-7	443
	DEV 2	3	3	13	13	18	14	12	4	4	2	3	43
433 10537 Falun 1961-78	MAX 4	6	23	55	102	136	128	96	43	17	4	3	540
	MIN -3	-5	4	22	69	92	85	62	32	7	-4	-5	407
	DEV 2	2	5	9	10	13	12	10	3	3	2	2	36
436 9516 Örebro-Ekeby 1964-78	MAX 8	13	29	61	116	154	138	104	48	22	5	3	602
	MIN -2	0	8	24	81	107	97	79	35	7	-6	-6	523
	DEV 3	3	6	11	11	14	13	8	4	4	3	3	33
444 10610 Folkärna 1965-78	MAX 1	8	18	50	91	136	113	95	38	14	3	1	505
	MIN -5	-1	5	19	70	95	76	68	30	0	-4	-7	411
	DEV 2	2	4	10	7	14	11	7	3	4	2	3	29
446 9635 Västerås fp1 1961-78	MAX 6	10	36	69	118	162	148	111	53	22	5	4	652
	MIN -2	1	7	31	78	110	93	71	37	10	-5	-5	484
	DEV 2	3	7	10	12	15	15	10	4	3	2	3	38
447 9623 Eskilstuna 1963-78	MAX 7	10	35	69	117	164	143	106	54	23	7	4	651
	MIN -1	1	10	30	87	110	95	69	40	8	-4	-6	518
	DEV 2	3	6	10	8	17	14	10	5	4	3	2	41
450 10744 Eggegrund 1961-76	MAX 19	20	40	59	98	136	138	108	61	29	16	20	671
	MIN 2	1	11	27	68	96	80	68	37	14	3	-3	503
	DEV 4	6	9	10	9	12	17	12	7	4	4	6	49
453 10740 Gävle 1961-78	MAX 13	14	35	58	109	156	155	111	57	21	9	11	703
	MIN -3	-2	5	26	67	106	89	44	34	8	-5	-10	496
	DEV 4	5	9	10	12	15	16	14	6	3	3	5	70
458 9753 Uppsala fp1 1961-78	MAX 6	10	34	64	118	153	131	102	48	25	6	8	614
	MIN -1	-1	2	26	69	98	86	63	34	10	-4	-4	411
	DEV 2	3	8	9	13	14	16	11	3	4	3	3	46
706 9752 Uppsala 1961-79	MAX 4	8	38	60	110	151	136	100	47	17	5	3	593
	MIN -2	1	9	28	76	105	87	70	35	8	-5	-5	475
	DEV 2	2	7	9	10	13	14	8	3	2	3	2	33
460 9739 Arlanda 1963-79	MAX 7	9	30	72	124	175	156	114	55	24	5	4	689
	MIN -1	-1	10	31	85	118	93	78	40	10	-3	-7	550
	DEV 2	3	6	10	9	15	19	10	4	4	2	3	65
464 9720 Stockholms fp1 1961-78	MAX 6	11	40	72	119	169	155	112	59	26	9	9	682
	MIN -2	1	9	31	82	120	102	79	41	12	-3	-5	522
	DEV 2	3	8	10	11	13	17	10	5	3	3	3	36
469 9711 Piksten 1961-79	MAX 4	7	35	63	109	160	143	101	47	22	6	3	610
	MIN -2	0	2	22	76	110	34	71	37	9	-3	-6	395
	DEV 2	2	8	10	9	14	15	9	4	4	2	2	51
480 9846 Hörrtälje 1965-78	MAX 8	9	25	57	99	143	137	98	53	28	9	8	579
	MIN -2	0	7	18	69	99	90	67	35	8	-6	-9	444
	DEV 3	3	6	10	9	12	16	9	5	5	4	5	74
489 9804 Härsfjärden 1962-79	MAX 8	8	23	60	103	142	132	103	47	25	7	6	582
	MIN -2	0	1	24	71	108	88	67	33	9	-6	-6	425
	DEV 3	2	6	9	9	11	15	9	4	4	3	4	39
494 9945 Söderarm 1961-79	MAX 24	28	46	55	95	134	141	109	65	36	28	22	675
	MIN 4	3	12	30	70	95	81	90	44	19	5	5	491
	DEV 5	7	9	8	8	10	17	8	7	5	6	5	48
496 9927 Svenska Högarna 1961-79	MAX 19	25	41	56	96	132	132	109	59	36	25	19	671
	MIN -1	3	7	28	68	104	93	76	42	18	6	1	525
	DEV 5	6	8	9	8	12	8	4	6	5	5	3	33
504 3134 Svarteborg 1965-78	MAX 7	15	35	67	111	132	135	96	53	25	9	4	614
	MIN -2	0	9	38	85	104	103	79	44	4	1	-4	533
	DEV 2	4	7	8	8	7	7	6	3	5	3	2	27
508 9106 Häseskär 1965-78	MAX 16	23	39	69	115	138	142	115	82	51	23	16	741
	MIN -2	7	15	48	88	112	115	87	50	23	2	0	607
	DEV 5	4	7	6	8	7	8	9	9	9	7	5	177
512 7147 Sve 1961-78	MAX 11	24	40	71	120	146	136	105	66	42	12	6	723
	MIN 0	2	7	36	83	112	104	82	47	3	-1	-7	549
	DEV 4	5	8	8	9	9	10	8	5	7	4	4	51
514 7143 Torslanda 1961-77	MAX 14	22	41	77	122	155	147	117	74	42	18	13	759
	MIN 2	5	20	47	94	121	119	92	56	19	7	-2	665
	DEV 4	5	6	7	8	9	8	6	6	3	4	2	29

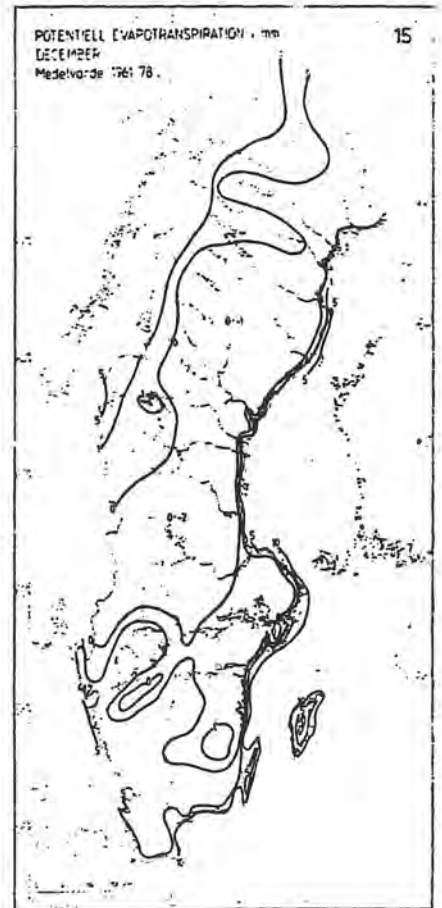
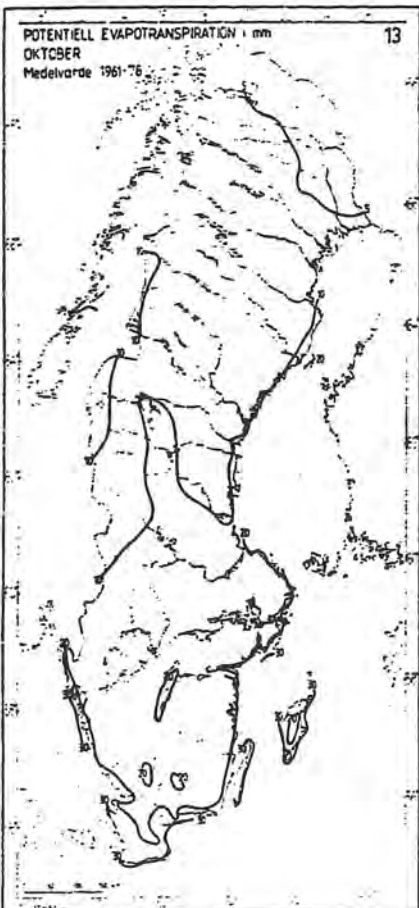
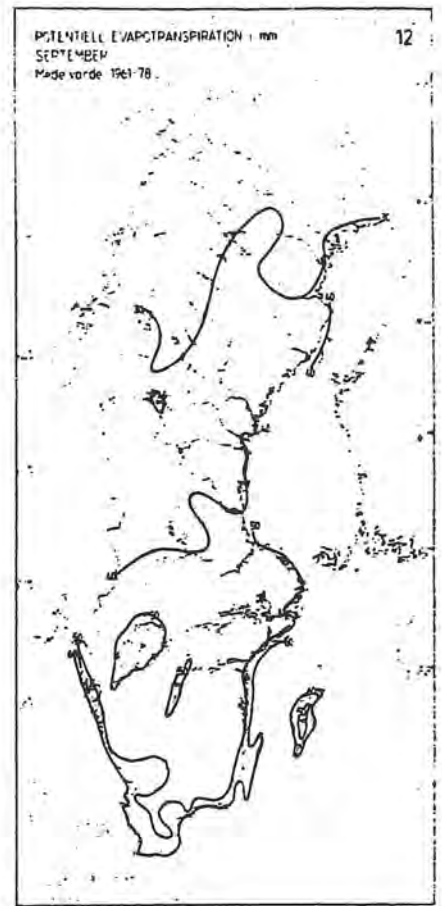
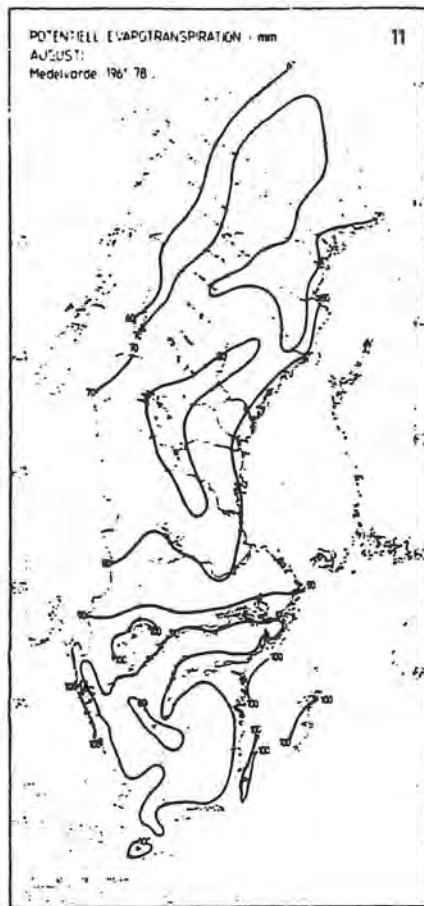
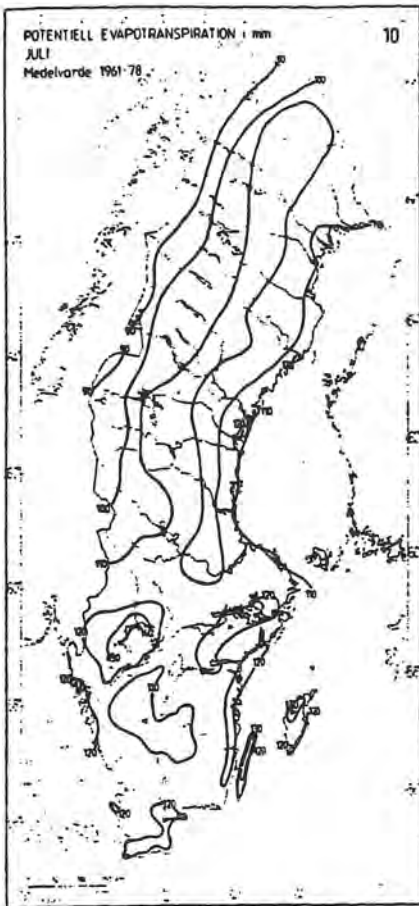
TABELL 8 forts.

Station (nr och namn)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AR
516 7138 Vinga 1966-79	MAX 18	19	42	69	115	149	142	111	74	40	20	16	715
	MIN 5	7	20	50	88	111	111	94	53	20	4	-4	563
	DEV 4	4	6	5	9	9	10	6	6	5	4	5	169
520 8226 Säternas 1961-78	MAX 7	13	45	67	105	136	127	102	57	25	10	5	634
	MIN 1	1	6	25	84	106	104	78	44	5	-1	-5	519
	DEV 2	4	10	11	6	8	7	6	4	5	3	3	31
522 8200 Alvhem 1965-78	MAX 6	12	34	61	101	131	127	93	49	26	6	2	575
	MIN -2	1	9	36	80	104	99	73	42	11			

TABELL 8 forts.

Station (nr och namn)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AP
533 7958 Fåro	MAX 18	20	35	51	103	144	150	118	69	33	21	12	712
	MIN 1	5	8	36	73	110	109	92	51	22	0	-7	601
	DEV 5	5	8	7	8	12	14	8	6	3	5	6	167
590 7840 Visby fpl	MAX 17	24	40	72	123	165	158	121	76	31	15	14	799
	MIN 0	1	7	35	86	126	106	87	48	17	3	2	596
	DEV 4	5	9	10	10	13	16	9	7	4	4	3	49
723 7839 Visby	MAX 16	27	43	70	114	164	154	122	75	36	18	12	745
	MIN 1	3	10	32	81	115	109	85	49	15	3	0	596
	DEV 3	6	9	10	9	13	13	10	6	6	5	5	47
592 7722 Ölands n. u.	MAX 27	31	45	75	118	165	160	130	84	49	32	26	851
	MIN 1	7	27	40	81	121	116	82	53	21	9	2	667
	DEV 7	7	5	9	12	14	13	13	9	7	6	7	118
594 7718 Stora Karlsö	MAX 21	25	40	59	113	146	141	116	76	48	25	28	735
	MIN 0	3	7	35	72	110	102	95	58	19	6	0	598
	DEV 6	6	7	7	11	12	12	7	7	0	5	8	40
595 7824 Buttle	MAX 5	10	28	63	113	155	149	102	52	24	6	6	629
	MIN -5	2	6	30	80	113	104	84	41	9	-2	-2	512
	DEV 3	3	7	9	8	13	14	6	3	4	2	4	80
604 6241 Halmstad fpl	MAX 9	15	37	76	117	135	126	105	64	30	14	6	669
	MIN -2	3	13	39	87	108	104	83	48	14	0	-3	551
	DEV 3	4	7	9	7	7	7	6	6	4	4	3	69
606 6219 Kullen	MAX 21	25	46	75	119	144	152	126	81	45	31	24	829
	MIN 5	4	19	49	89	109	114	93	59	23	9	2	639
	DEV 5	6	7	7	7	9	10	9	7	6	6	6	53
607 6218 Barkåkra	MAX 12	16	38	75	124	142	130	104	62	33	15	7	670
	MIN 1	3	13	44	86	110	104	83	49	16	3	-2	566
	DEV 3	3	7	8	8	9	8	7	4	4	3	3	30
611 5203 Helsingborg	MAX 15	19	36	71	116	130	136	116	75	33	15	12	721
	MIN 0	3	17	42	82	107	0	82	45	12	-2	-3	523
	DEV 5	5	7	8	9	7	10	10	8	7	5	5	71
616 5223 Falsterbo	MAX 17	19	41	68	113	135	138	117	78	36	23	13	729
	MIN 4	9	20	36	86	111	112	92	52	24	2	-2	600
	DEV 4	3	6	8	8	7	9	7	8	4	7	5	39
622 6350 Ljungby	MAX 7	16	38	64	121	142	144	113	61	36	11	8	689
	MIN -1	1	8	32	79	105	98	79	44	10	2	-1	531
	DEV 3	4	7	8	9	10	11	8	5	6	3	2	44
626 6322 Osby	MAX 8	13	34	63	100	118	116	92	49	24	9	8	565
	MIN 0	2	11	34	48	103	96	49	40	11	1	-1	352
	DEV 2	4	6	9	14	5	6	9	2	4	2	2	66
630 6305 Ljungbyhed	MAX 11	14	40	70	118	134	127	100	60	31	11	8	647
	MIN 0	3	14	39	23	109	102	81	43	14	3	-1	548
	DEV 3	3	7	8	8	6	8	6	3	4	2	2	31
631 5343 Lund	MAX 16	17	41	73	109	139	129	110	64	30	13	7	656
	MIN 1	2	14	32	0	109	109	88	50	16	-7	-4	534
	DEV 3	4	7	10	6	8	7	6	4	4	5	3	29
635 5336 Malmö	MAX 17	23	47	74	122	152	147	118	75	36	19	10	769
	MIN 3	8	19	51	95	120	116	97	53	19	4	2	637
	DEV 4	4	8	7	8	8	9	6	6	5	4	3	28
638 5320 Smygehuk	MAX 19	23	43	63	109	129	132	111	76	43	26	17	731
	MIN 4	7	19	40	83	106	103	85	53	0	7	-3	594
	DEV 6	4	6	6	7	7	9	8	7	7	5	6	171
639 5326 Ystad	MAX 18	22	42	70	107	138	132	113	65	34	17	14	721
	MIN 5	6	18	41	84	109	106	81	47	19	2	1	562
	DEV 3	4	7	8	7	8	9	9	6	5	4	4	37
640 6452 Växjö	MAX 8	20	41	62	116	135	129	96	52	26	13	7	634
	MIN 1	1	12	34	80	101	99	80	44	12	3	-3	541
	DEV 2	4	8	8	9	8	9	5	2	3	3	3	27
649 6403 Kristianstad	MAX 15	23	49	78	126	142	140	111	66	35	14	12	744
	MIN 1	6	20	43	90	117	109	91	50	15	0	-1	612
	DEV 4	5	7	8	10	7	9	5	5	4	3	3	35
650 6402 Hamb	MAX 25	29	47	76	111	136	136	118	81	56	26	31	795
	MIN 4	10	14	42	86	112	105	89	52	22	12	4	588
	DEV 6	5	8	8	7	7	10	9	8	6	8	8	80
719 6413 Karlshamn	MAX 23	38	49	71	108	135	134	100	72	41	28	13	719
	MIN -3	3	28	45	89	114	104	84	46	8	0	-2	561
	DEV 6	9	9	7	5	6	8	5	6	9	7	4	104
664 6516 Bredåkra	MAX 8	18	41	64	110	133	138	101	54	25	9	8	636
	MIN -2	2	12	35	83	104	101	62	45	12	0	-1	532
	DEV 2	4	8	8	7	8	10	5	3	3	3	2	28
672 6641 Kalmar	MAX 11	21	51	67	109	133	137	105	55	31	13	11	669
	MIN 0	2	13	33	84	110	105	84	49	16	2	-2	555
	DEV 3	5	10	9	6	7	9	6	4	4	3	3	33
676 6612 Ölands s.u.	MAX 29	25	46	65	102	135	141	115	71	42	26	22	714
	MIN 4	5	17	37	77	109	107	85	54	22	7	3	596
	DEV 7	5	7	7	7	2	9	9	5	6	5	5	161
680 6855 Hoburo	MAX 23	28	41	65	114	139	137	109	69	40	24	22	723
	MIN 5	8	15	41	78	110	108	83	48	19	3	5	589
	DEV 5	5	7	6	8	9	9	7	6	5	6	6	38





Svealandskusten värden på drygt 10 mm. I Götaland, där den tillgängliga strålningsenergin är större och antalet dygn med snötäcke mindre än i norra Sverige ger formeln värden mellan 5 och 10 mm i södra Götaland under nov och febr. Under dec och jan med låg instrålning är värdena något lägre. Det är slående att det är kuststationerna som Kullen, Hanö, Ölands södra och norra udde som ger de högsta värdena på möjlig avdunstning. Detta beror på att andra delen av Penmans formel, den som innehåller produkten mellan vindhastighet och ångtrycksdeficit, ger ett väsentligt bidrag till E_p .

De här redovisade möjliga avdunstningsvärdena under vintern är mer trovärdiga än de som Wallén redovisade. Det förefaller mindre troligt att i medeltal kondensationsprocesserna så kraftigt skulle överväga avdunstningsprocesserna att månadsmedelvärden på -5 - -13 mm är riktiga. Att utfällning av vattenånga ur luften i form av dagg, rimfrost eller dimfrost under vissa perioder kan vara kraftig och röra sig om flera kg/m², månad är rimligt men knappast i medeltal för en följd av år. Att kondensationen kan överväga avdunstningen med någon eller några mm/mån som december- och januarikartorna inom vissa områden visar förefaller ej orimligt.

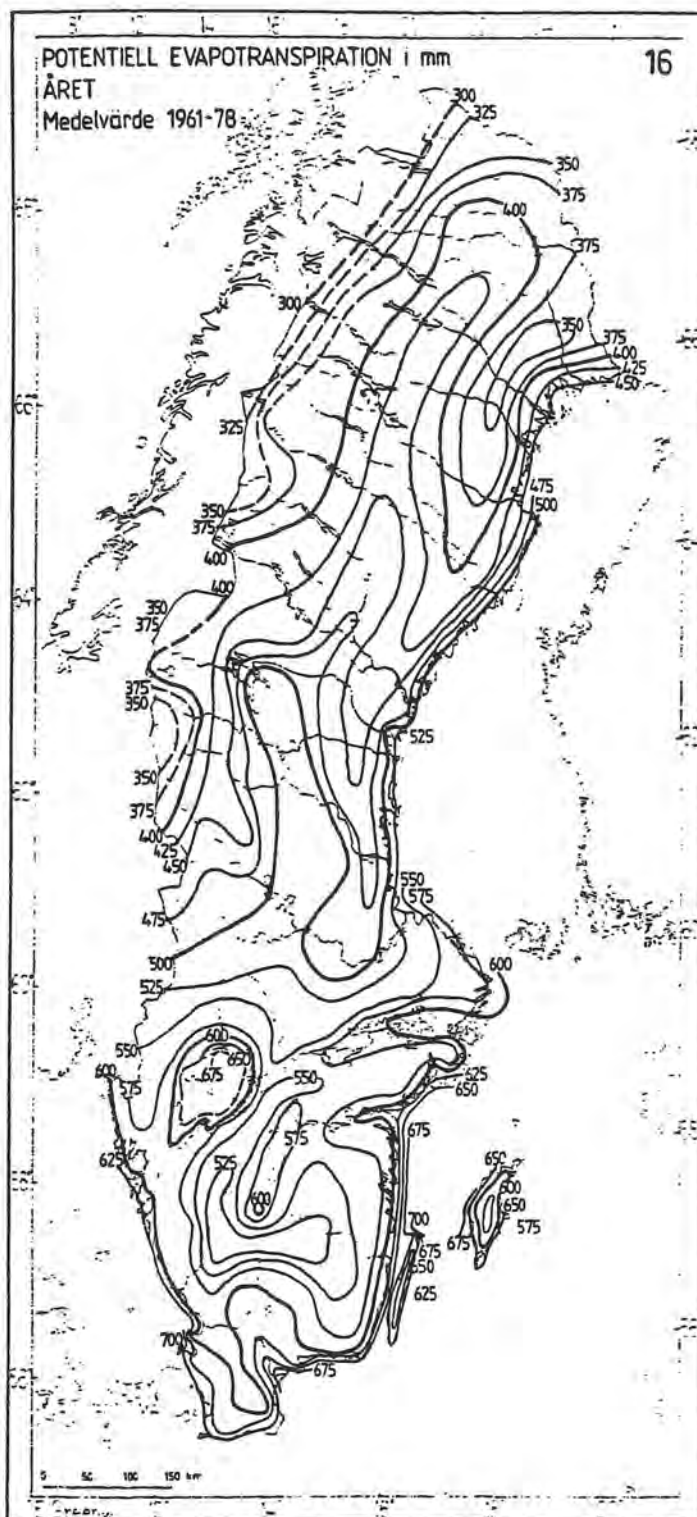
Enligt marskartan har den för avdunstning tillgängliga energin ökat så mycket att samtliga stationers medelvärden av \bar{E}_D är positiva. De ligger mellan 5 och 10 mm norr om 60° N. Söder därom är möjliga avdunstningsvärden 15-25 mm, vid Götalands kuststationer ca 30 mm.

Under april är månadssumman av \bar{E}_D 50-60 mm i Götaland, och den avtar successivt ju längre norrut man kommer för att nå värden under 10 mm i nordligaste Lappland.

Genom att termen ΔG har försumrats i ekv 1 erhålles i princip något för höga värden på den potentiella evaporationen under maj månad. Viss del av inkommande strålningsenergin åtgår för att värma upp de översta markskikten. Majkartan visar värden över 100 mm i västra Götaland och i Mälardalen. Lägsta värdena, under 40 mm, förekommer i nordvästligaste Lappland.

Junivärden över 140 mm har erhållits för Arlanda, Karlstad, Åmål, Visby och norra Öland. Skillnaderna mellan landets norra och södra delar är ej så stora. Stora delar av Norrland har värden omkring 120 mm, vilket man även finner på sydsvenska höglandet. I de västra fjällen ligger avdunstningsvärdena något under 100 mm.

Under juli är värdena på \bar{E}_D mycket likartade i hela landet. Pga lägre konvektiv molnighet och högre vindhastigheter visar kuststationerna i regel högre värden än inlandsstationer. Högsta värdena, nära 140 mm, har erhållits för Karlstad och Åmål. Ganska stora skillnader mellan närbelägna orter kan förekomma. Således ger data från Jönköpings flygplats värdet 124 och staden värdet 97. Denna skillnad kan förklaras av de högre vindhastigheterna som förekommer på flygplatsen. I andra fall kan överensstämmelsen vara mycket god, t.ex ger Uppsala F16 113 mm och staden 110, Visby flyg 132 mot 127 för staden.



\bar{E} -värdena för augusti är 20-30 mm lägre än under juli. Det beror främst på att den inkommande strålningens energi är lägre men även på att luftfuktigheten är högre under augusti än under juli. Flera detaljer på denna karta liksom på föregående kan ifrågasättas. Det gäller t.ex. Norrland, där kustområdena till följd av högre vindhastighet och lägre molnighet har högre värden på den potentiella evapotranspirationen än några mil inåt landet. Men stationerna i de mellersta delarna av Norrlands inland ger både för juli- och augustivärdena högre värden än inom området några mil innanför kusten. Eftersom det är så många stationsvärden som stöder analysen kan orsakerna till isolinjernas något oväntade förlopp knappast vara dålig representativitet hos de meteorologiska parametrar som ingår i Penmans formel. Högsta augustivärdet erhöles för Ölands norra udde, 109 mm, och lägsta, 55 mm, för Klimpfjäll.

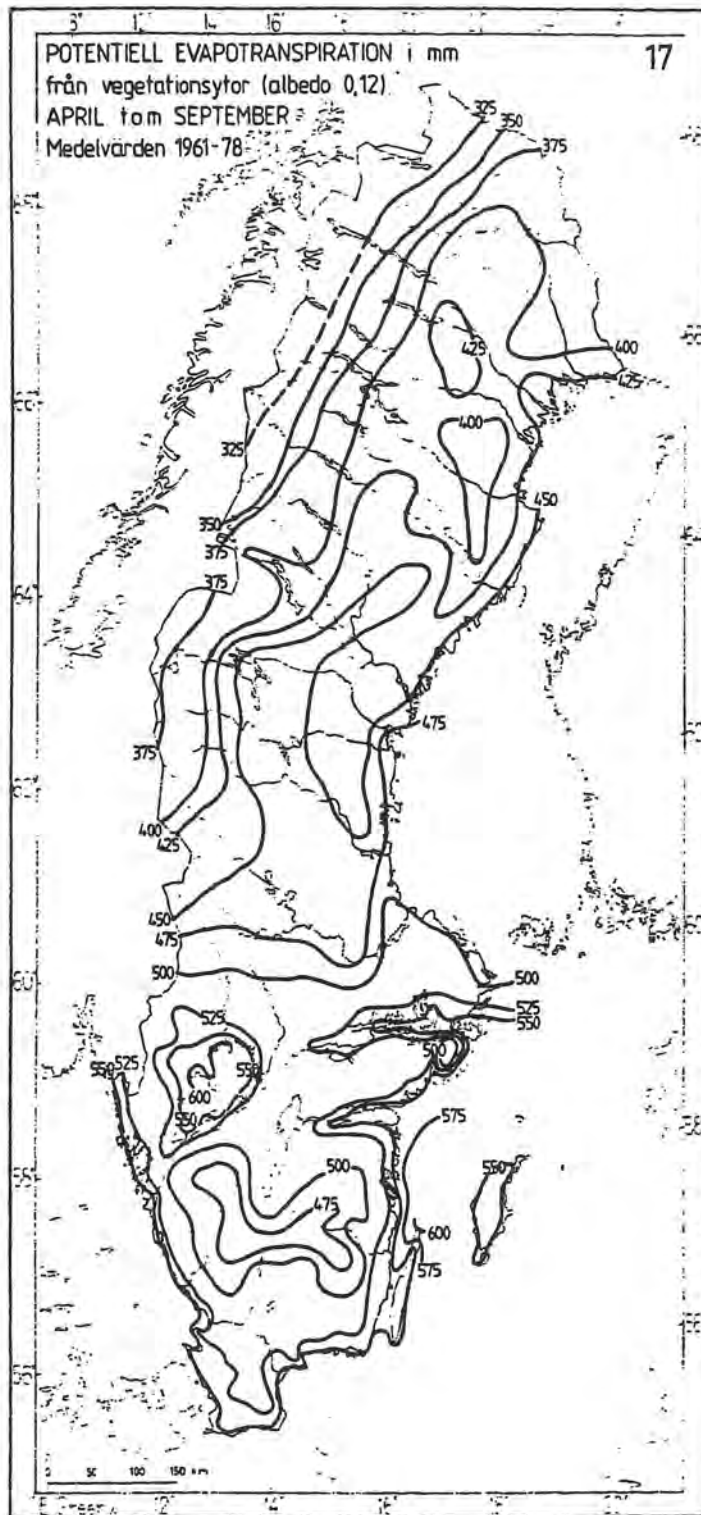
Septemberkartan ger i södra Sverige värden mellan 50 och 60 mm medan i Norrland maximala avdunstningsvärden torde ligga mellan 25 och 40 mm. Under oktober kan man räkna med \bar{E}_p -värden mellan 5 och 10 mm i Norrland, 15-30 mm i södra Sverige. Värden obetydligt över 30 mm är det endast några kuststationer som ger. Höstvärdena är i princip något för låga därför att det sensibla värme flödet från marken (termen ΔG i ekv 1) har negligerats.

5.2.2 Kommentarer till kartor avseende hela året och perioden april-september.

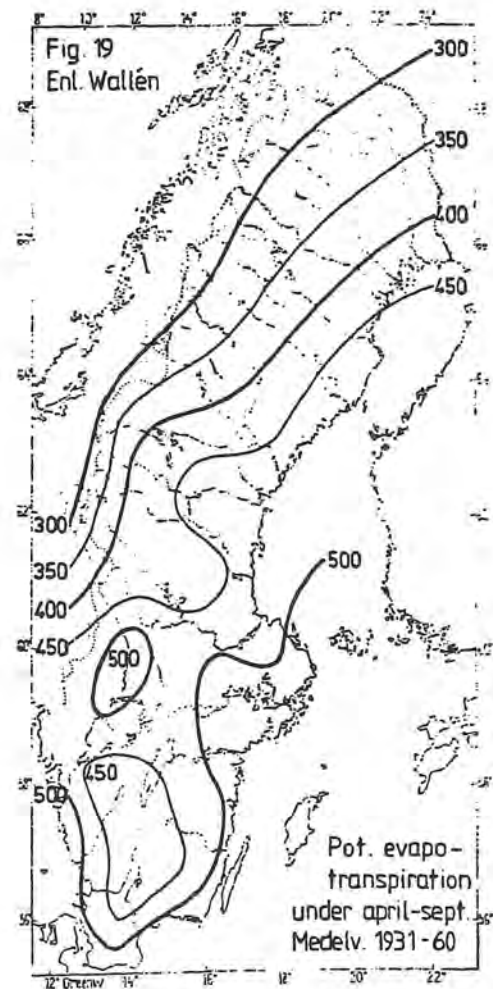
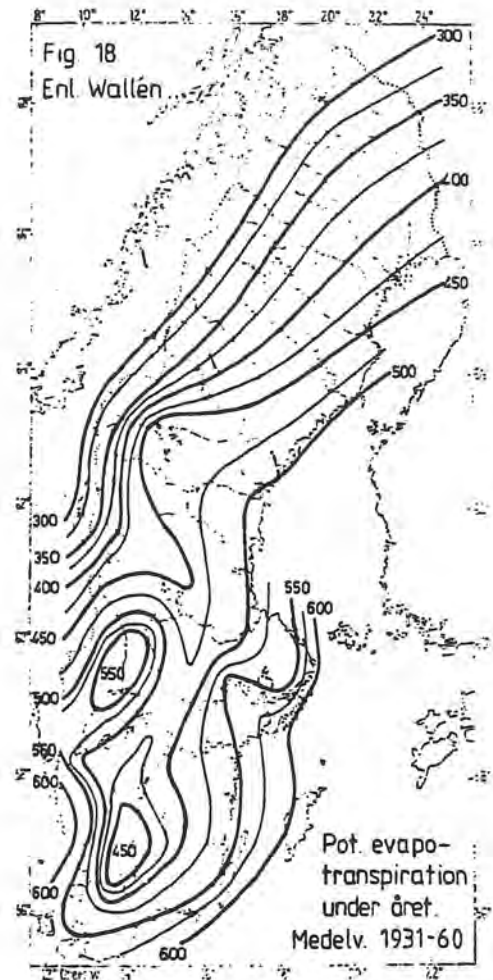
De båda kartorna för den potentiella evapotranspirationen i medeltal för hela året och för vegetationsperioden april-september bör jämföras med de av Wallén publicerade (se ref 14). Visserligen avser Walléns kartor (se fig 18 och 19) perioden 1931-60 och de här publicerade en annan och kortare period samt ett annat albedovärde (0.12) än Wallén använde (0.25). Dock bör de nya och de gamla kartorna i grova drag visa överensstämmelse. Eftersom de nya kartorna är baserade på ett större antal stationer, bör de ge större detaljrikedom. De nya kartorna är baserade på beräkningar av dagliga värden och hänsyn har tagits till förekomst av snötäcke. De bör därför i princip vara mera tillförlitliga än de gamla.

Arskartan över den potentiella evaporationen från en vegetationsyta med albedo 0.12 visar värden omkring 600 mm vid södra Sveriges kustområden. Högsta värdena, 715 mm, ger två kuststationer, Kullen och Ölands norra udde. I södra Sveriges inland är det endast Karlstad (671 mm), Åmal (657 mm) och Jönköpings flygplats (600 mm) som når upp till eller över 600 mm. Minimiområdet på sydsvenska höglandet har värden under 525 mm, vilket är åtskilligt högre än på Walléns karta. Maximiområdet på tidigare kartan över Värmland är sannolikt felplacerat och bör ligga vid stationerna runt Väneren i stället. I norra Sverige går isolinjerna för samma potentiella avdunstning ganska olika på de bägge kartorna. Högsta värdena, ca 500 mm vid kusten, stämmer väl överens, men de nya beräkningarna ger ett "tråg" innanför kustområdet och en "rygg" upp över inre Norrland. Östersund och Frösöns data ger samma värden som vid södra Norrlandskusten medan t.ex Delsbo, Fränsta och Bredbyn ger lägre värden. Samma förhållanden gäller längre norrut. Arjeplog och Jokkmokk har nästan lika höga \bar{E}_p -värden som Luleå och Haparanda, medan flera stationer däremellan ger ca 50 mm lägre värden. Någon fysikalisk eller annan förklaring till det oväntade resultatet kan ej presteras.

Det är slående att flertalet stationer i Norrbotten och Västerbotten som visar låga värden i förhållande till kuststationerna och de i östra Lappland är stationer som observerar fuktigheten med torr och våt termometer. Även i övriga delar av landet visar stationer av denna typ i många fall låga \bar{E}_p -värden i förhållande till grannstationer som bestämmer luftfuktigheten med hårhygrometer. Sådana exempel är Hagshult, Västerplana, Riksten, Hårsfjärden och Hallviken. Det har konstaterats att det finns en systematisk skillnad mellan fuktighetsvärden avlästa på hårhygrometer och bestämda medelst torr och våt termometer. Dock finns det stationer med hårhygrometer som fuktighetsinstrument, t.ex Lycksele, Fredrika, Bredbyn, Fränsta, Delsbo och Folkärna som stöder den gjorda analysen. Det finns också exempel på näraliggande stationer, där, trots olika fuktighetsinstrument, \bar{E}_p -värdena väl stämmer överens. Sådana exempel är Gunnarn-Steñsele, Frösön-Östersund, Uppsala-Uppsala fpl. Förklaringarna till isolinjernas oväntade förlopp kan sannolikt inte vara de systematiska felen i fuktighetsmätningarna. Andra förklaringsgrunder skulle kunna sökas i systematiska felskattningar av molnmängd och vindhastighet. Men det är osan-



Figur 17
Den potentiella evapotranspirationen
i mm från vegetationsyta med albedo
0.12 under tiden april-sept. Medel-
värden för 1961-78



nolikt att alla närliggande stationer felbedömer dessa parametrar i samma riktning. Analysen i fjälltrakterna är mycket osäker. Det är sannolikt att \bar{E}_p -värdena där ligger under 300 mm i norra Lapplandsfjällen.

En jämförelse mellan årskartan över \bar{E}_p och tidigare publicerad karta över årsmedelvärden av verklig avdunstning (SMHI RMK 18 1980) visar att inom de nederbördsrika skogsområdena i gränstrakterna mellan Halland och Småland/Västergötland ligger \bar{E}_p -värdena ganska nära de som erhållits ur vattenbalanskvationen. Detta skulle kunna tolkas så att inom dessa områden sällan råder brist på vatten i trädens rotzoner. Dock medförde några torra år i dessa trakter, bl.a 1969, 1972 och 1976 att på granbestånd konstaterades skador vilka sannolikt förorsakades av vattenbrist. Eftersom transpiration och interception från skogsarealer kan överstiga avdunstningen från fria vattenytor vid samma atmosfäriska betingelser är det fullt rimligt att de bägge kartorna som jämförs i nämnda klimatzon bör visa ganska likartade värden. Konstaterandet skulle kunna vara ett argument för att de tidigare redovisade höga avdunstningsvärdena på västsidan av sydsvenska högländet är rimliga. Det kan möjligen vara ett litet stöd för att beräknade Penmansvärdena kan användas även för skogstrakter. I de östra delarna av Götaland och Svealand är \bar{E}_p -värdena ca 100 mm högre än de som redovisas i SMHI-rapporten RMK 18. Längs södra Norrlandskusten ger bägge kartorna värden omkring 500 mm. Det bör sannolikt tolkas så att karta 3 i RMK 18 ger för höga värden i detta område. Orsaken till att så höga värden på verklig avdunstning erhöles är att avrinningsvärdena nära kusten är osäkra. I Norrlands inland är \bar{E}_p -värdena flerstädes ca 150 mm högre än de som beräknats från avrinnings- och nederbördsdata. Minimiområdet i Norrbotten på \bar{E}_p -kartan, 350 mm, är sannolikt felaktigt eftersom vattenbalansmetoden där ger värden mellan 300 och 350 mm.

Under växtperioden (se figur 17) är den möjliga avdunstningen i medeltal 500-550 mm söder om 60°N. Några få stationer, Karlstad, Amål, Torslanda och Ölands norra udde ger värden över 600 mm. Norr om 60°N ligger värdena mellan 400 och 500 mm utom i de västra delarna av Härjedalen, Jämtland och Lappland samt ostligaste Norrbotten. Jämförd med Walléns karta (se figur 19) ger de nya beräkningarna ca 50 mm högre värden i södra Sverige. Även i norra Sverige är de nya värdena inom stora områden ca 50 mm högre än på tidigare karta. Det gäller t.ex delar av Jämtland och stora områden i Lappland.

5.2.3 Jämförelse mellan verklig avdunstning över skog och Penmanvärden

Bringfelt (1980) har redovisat avdunstningen över skog i Velenområdet i Västergötland för månaderna juli-sept 1973 samt maj-sept 1974. Med Bowen-förhållandemetoden (Bo) och tillgängliga profilmätningar i en meteorologisk mast erhöles de värden som redovisas i tabell 9 sid 41. Där anges också uppmätta interceptionsvärden (E_i). I denna tabell redovisas de värden på den potentiella avdunstningen (E_p) som erhållits med användning av Penmans formel med meteorologiska data från närmaste synoptiska station, nämligen Fägre, och med användning av albedovärdet 0.12. I tabell ges uppmätt nederbörd i Fägre (F), korrigerad

nederbörd från nederbördsstationerna inom Velenområdet (V), antalet nederbördsdygn enligt observationerna i Fägre samt temperatur-, ångtrycksdeficit-, vindhastighets- och molnighetsvärden enligt mätningar och observationer i Fägre. Värdena som anges är månadsmedeltal och avv. är månadsmedeltemperaturens avvikelse från normalvärdet.

Tabell 9

Beräknad avdunstning över skog (Bo) i Velen jämförd med potentiell avdunstning enligt Penmans formel (E_p) med meteorologiska data från Fägre.

År mån	Avd i mm		Nbd i mm		Antal		Temp °C	$\hat{e}_s - \bar{e}$ avv mb	Vind hast m/s	Moln oktas		
	Bo	E_p	F	V	$E_{I \geq 0.1}$	$E_{I \geq 1.0}$						
73 07	114±29	132	49	72	16	16	7	18.0	1.6	6.7	3.9	4.1
08	104±27	98	46	65	21	21	8	14.6	-0.6	5.8	3.8	3.6
09	72±25	45	64	68	20	15	9	10.1	-0.8	2.7	3.7	5.3
74 05	107±29	122	19	18	7	5	4	10.0	0.1	4.9	5.1	3.3
06	100±33	122	60	64	17	14	9	13.9	-0.2	5.8	4.7	4.7
07	89±28	109	40	64	19	16	9	14.5	-1.9	5.1	3.3	4.9
08	81±21	85	39	57	17	11	7	14.7	-0.5	4.7	3.0	4.8
09	51±17	42	74	92	21	19	11	11.7	0.8	1.8	3.9	5.6
Summa	718	755	391	500	138							

Anm. Understrukna E_p -värden är de som är lägre än Bo-värden.

Man ser av tabellen att samtliga E_p -värden utom ett (sept. 73) ligger inom det intervall, som anges för Bo-värdena. Under 3 månader av 8 ligger de potentiella avdunstningsvärdena (E_p) under de som avser verklig avdunstning.

Detta bekräftar tidigare påpekande att verklig avdunstning kan vara högre än vad som erhålles ur formler för s.k. potentiell avdunstning.

Ser man lite närmare på de tre månader, då E_p -värdena är lägre än de som beräknats med hjälp av Bowenförhållandet kan man konstatera följande. Både aug 1973 och sept 1974 var antalet nederbördsdygn stort. Under sept 1973 var antalet nederbördsdygn ej speciellt stort, men nederbörden föll på ett sådant sätt att interceptionen blev hög. Se E_I -värdena i tabellen. Trots att antalet månader endast är 8 torde man kunna dra den slutsatsen att avdunstningen över skog är större än vad Penmans enkla formel ger i de fall då nederbörden under dygnet faller så att interceptionen från trädskronorna är hög.

Summerar man de tre kolumnerna med mm-värden, finner man att den verkliga avdunstningen är 5% lägre än den som Penmans formel ger. Under den studerade perioden rådde ett nederbördsunderskott på drygt 200 mm. Detta hade till följd att vattenlagren i mark, och i sjön Velen minskade. Ca 28% av nederbörden som föll över skog avdunstade genom interception.

Slutsatsen man kan dra av jämförelsen mellan Velendata enligt Bringfelt och de från Fägres data beräknade med hjälp av Penmans formel i sin ursprungliga enkla form dock ger värden, som är tämligen realistiska även för skogsområden, men att vid hög interception erhålles för låga värden.

5.2.4 Avdunstning från snöytor

Ett flertal empiriska formler har tagits fram för att beräkna avdunstningen från snöytor. De flesta av dessa utnyttjar de meteorologiska variablerna vindhastighet och ångtrycksdeficit. Kuzmin anger följande samband:

$$E_s = 0.18 + 0.098 v (e_s - e) \text{ ----- (4a)}$$

Där E_s är daglig avdunstning i mm

v är vindhastighet i m/s

e_s är mättnadsångtryck i mb

e är rådande ångtryck i mb

Lemmelä och Kuusisto bestämde följande samband för finska förhållanden

$$E_s = 0.03 + 0.11 (1 + 0.86 v) (e_s - e) \text{ ----- (4b)}$$

L Bengtsson fann en nästan identisk formel från mätningar i Luleå 1979.

$$E_s = 0.03 + 0.25 (1 + 0.71 v) (e_s - e) \text{ ----- (4c)}$$

En nackdel med dessa formler är att de inte klarar av dygn då kondensation på snötäcket förekommer. Ovanstående formler ger i allmänhet högre avdunstningsvärden än vad Penmans formel ger. Som exempel kan nämnas att Kuzmins formel ger 6 mm under jan 78 i Kiruna medan att med Penmans formel erhöles värdet 3 mm.

Från lysimetermätningar av avdunstningen från snö i Luleå och olika beräkningsmodeller fann Bengtsson att den totala avdunstningen under en snösäsong uppgår till 10-20 mm. Avdunstningen från snö överstiger sällan 1 mm/dygn. Mätningar i södra Finland visar att avdunstning från snö bara äger rum under tiden mars-april och uppgår till ca 8 mm/vinter. M Persson fann från vattenbalansstudier i Lappträsket att avdunstningen under en hel vinterperiod endast uppgick till några få mm.

Hur stämmer de i tabell redovisade resultaten med ovanstående från olika källor inhämtad information?

Tabell 7 visar att under tiden nov-febr är avdunstningen enligt Penmans formel nära 0 för norra Sverige. Detta stämmer väl med Lemmelä-Kuusistos påpekande. Under april är avdunstningsvärden för stationerna i Norrland i de flesta fall i medeltal mindre än 1 mm/dygn.

För att belysa storleken av avdunstningen under enskilda vintersäsonger har i tabell 10 angetts värden enligt Penman för enskilda månader och snösäsonger för Luleå. Endast de månader då samtliga dygn under månaden har haft snötäcke har medtagits, vilket för Luleås del är dec t.o.m april.

Tabell 10

Avdunstningen i mm enligt Penmans formel med data från Luleå flygplats.

Vinter- säsong	Dec	Jan	Febr	Mars	April	Dec-April
61/62	0.0	1.7	0.9	0.5	22.1	25
62/63	-0.8	-0.3	0.2	2.3	22.1	24
63/64	0.5	4.5	-1.4	2.9	14.8	21
64/65	-0.3	-1.4	8.4	6.1	16.0	29
65/66	-1.3	-1.4	-0.9	2.9	15.5	15
66/67	2.1	-0.9	0.2	7.6	18.7	28
67/68	1.4	-0.5	0.2	6.9	20.3	28
68/69	1.5	2.5	1.2	8.0	15.4	27
69/70	-1.5	0.6	0.4	6.1	14.9	21
70/71	1.3	0.9	4.7	4.6	22.1	34
71/72	0.0	0.3	-0.6	10.2	19.1	29
72/73	-3.3	3.5	4.8	8.0	16.4	29
73/74	-1.4	1.0	0.0	4.1	21.2	25
74/75	-2.1	-1.9	4.8	9.4	17.1	27
75/76	4.9	0.0	0.2	3.8	26.1	35
76/77	-0.7	-0.8	-0.3	7.7	12.7	19
77/78	1.5	-0.8	0.5	7.2	21.6	29

Av tabellen framgår att de erhållna Penmanvärdena är högre än de som Bengtsson anger, även om hänsyn ej tagits till att snötäcke oftast bildas under nov och snön ej alltid har helt smält bort förrän en bit in i maj. Å andra sidan avser det värde, 17 mm, Bengtsson uppskattat endast en säsong nämligen vintern 78/79.

Sammanfattningsvis kan konstateras att det inte är helt orimliga avdunstningsvärden Penmans formel ger under vintersäsongen, men för noggranna beräkningar måste den aerodynamiska formeln och profilmotoden användas tillsammans med energibalansberäkningar.

5.3 Potentiellt nederbördsunder- resp överskott

De framräknade medelvärdena för månader, år och växtsäsong av E_p har jämförts med motsvarande medelvärden av nederbörden. Egentligen borde korrigerade nederbördsvärden användas, men eftersom \bar{E} -värdena är osäkra, är det ingen större nackdel att använda okorrigerade nederbördsdata.

Om E_p är större än nederbörds mängden (P) under samma tid, kan man säga om potentiellt nederbördsunderskott. Under sådana perioden förbrukar växtligheten av det fria lagringsvattnet i växternas rotzon. Är differensen $E_p - P$ negativ betyder det nederbördsöverskott, som ersätter tidigare förbrukning av lagringsvattnet, sipprar ned till grundvattnet eller rinner bort som ytavrinning.

Under månaderna okt t.o.m mars är E_p -värdena i Sverige låga och i medeltal överstiger de ej månadsnederbörds mängderna.

Under vissa av dessa månader kan ett visst år ge negativa värden på $E_p - P$. Det gäller speciellt vissa marsmånader vid en del orter. Men även under okt och febr kan det något enstaka år förekomma vid några få platser att de beräknade E_p -värdena är högre än de uppmätta P -värdena. För månaderna april-sept har beloppen ($\bar{E}_p - \bar{P}$) analyserats och ges i kartform. (fig 20-25 på sid 46).

5.3.1 Kommentarer till kartor över ($\bar{E}_p - \bar{P}$)

Under april är i medeltal E_p större än P i södra Sverige utom på västsidan av sydsvenska höglandet. De potentiella nederbördsunderskotten uppgår till 20 mm i östra Kalmar län, östra Östergötland och delar av Uppland.

Maj är i medeltal en torr månad, dvs möjliga evapotranspirationen är större än nederbörds mängderna. Det torde vara endast i fjällen som nederbörden väger över. I Mälardalskapen och i Östergötland är vårtorkan värst. 60-70 mm mera vatten kan i medeltal avdunsta än som erhålles genom majregnen. Även delar av Gotland och Kristianstadsslätten har värden omkring 60 mm. Inom de nederbördsrika skogsbygderna i västra Götaland är det potentiella nederbördsdeficitet ca 30 mm.

Juni har i medeltal ännu högre värden på det potentiella nederbördsunderskottet än vad majkartan visar. Det är de östra delarna av Svealand och ostligaste Götaland, som ger de högsta värdena på möjligt nederbördsunderskott, och där alltså största behoven av konstbevattning förekommer. Enstaka stationer ger värden på differensen ($\bar{E}_p - \bar{P}$) som är över 100 mm. Längs Norrlandskusten är det potentiella nederbördsunderskottet i genomsnitt 80 mm, medan stora delar av Norrlands inland har värden mellan 60 och 70 mm.

Juli månad visar lägre siffror på differensen $E_p - P$ än föregående månad. Det är även denna månad de ostligaste delarna av Sverige, som har den lägsta nederbörden i relation till potentiell evapotranspiration. Delar av västra Götaland har potentiellt nederbördsöverskott liksom de västra fjälltrakterna. I Norrland råder homogena förhållanden med värden mellan 20 och 30 mm.

Kuststationerna längs Norrlandskusten visar värden omkring 70 mm, vilket kan vara fiktivt till följd av att nederbördsmängderna ej korrigerats för förluster i samband med nederbördens uppmätning.

Under augusti är månadsnederbörden större än evapotranspirationen förutom på västsidan av sydsvenska höglandet och fjällen även inom delar av Norrlands kustlandskap. I de östliga områdena av södra Sverige överstiger \bar{E}_p -värden \bar{P} -värdena med 20-30 mm.

För september gäller i medeltal för så gott som hela landet att månads mängderna av nederbörden överstiger de mängder som kan avges till luften genom avdunstning, transpiration och interception. Endast några få stationer vid Östersjökusten ger potentiellt nederbördsunderskott.

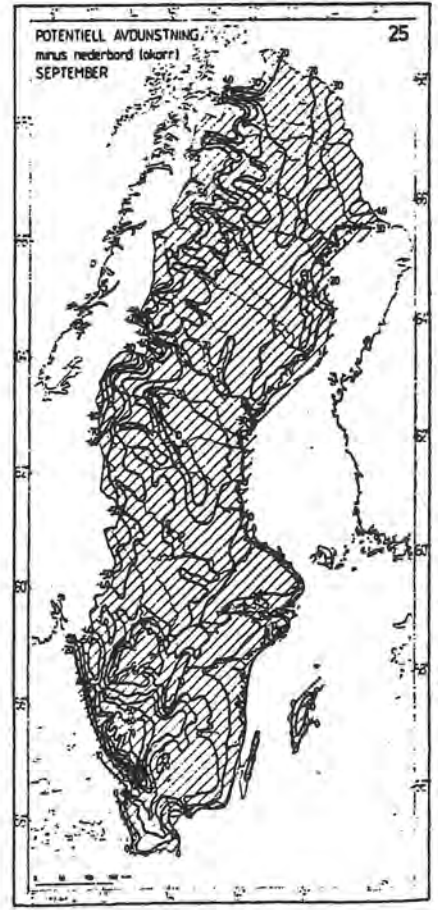
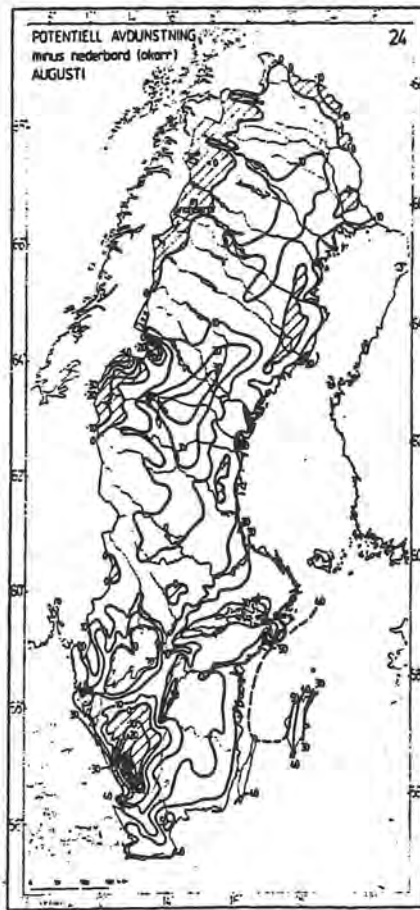
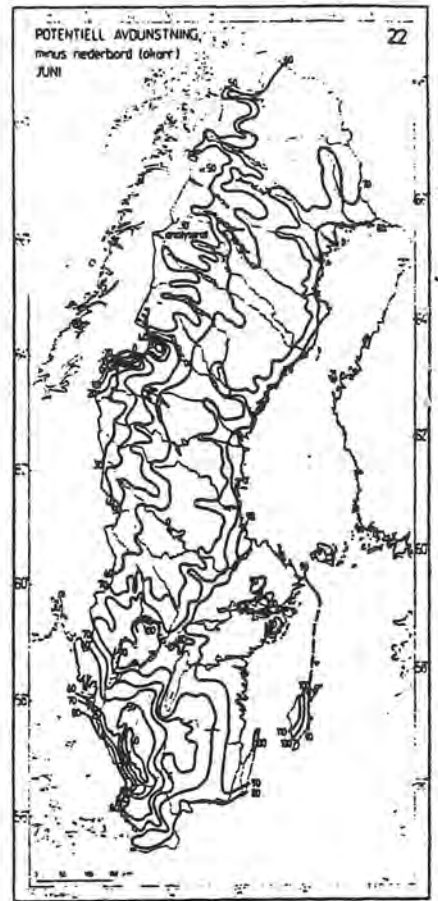
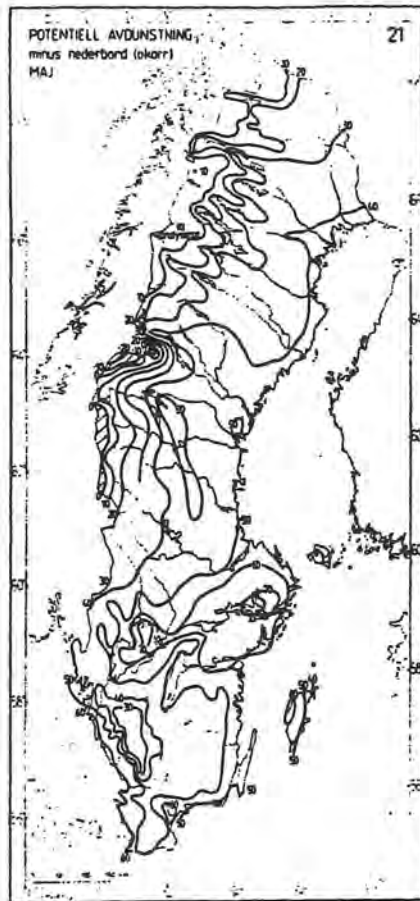
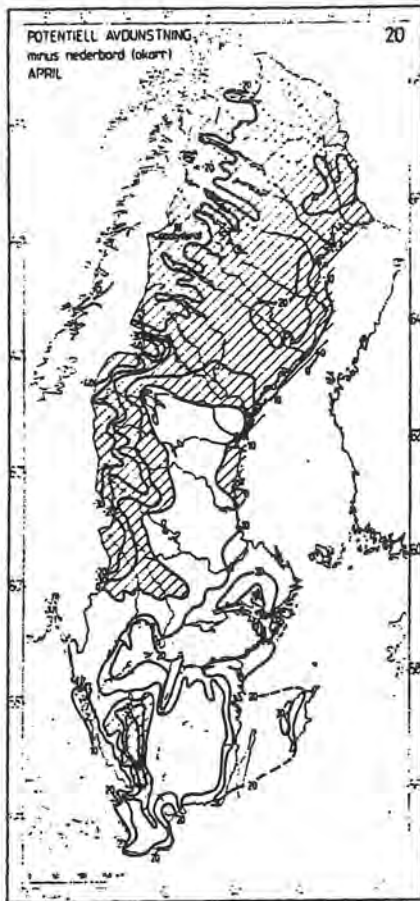
5.3.2 Kommentarer till års- och halvårskarta över $(\bar{E}_p - \bar{P})$

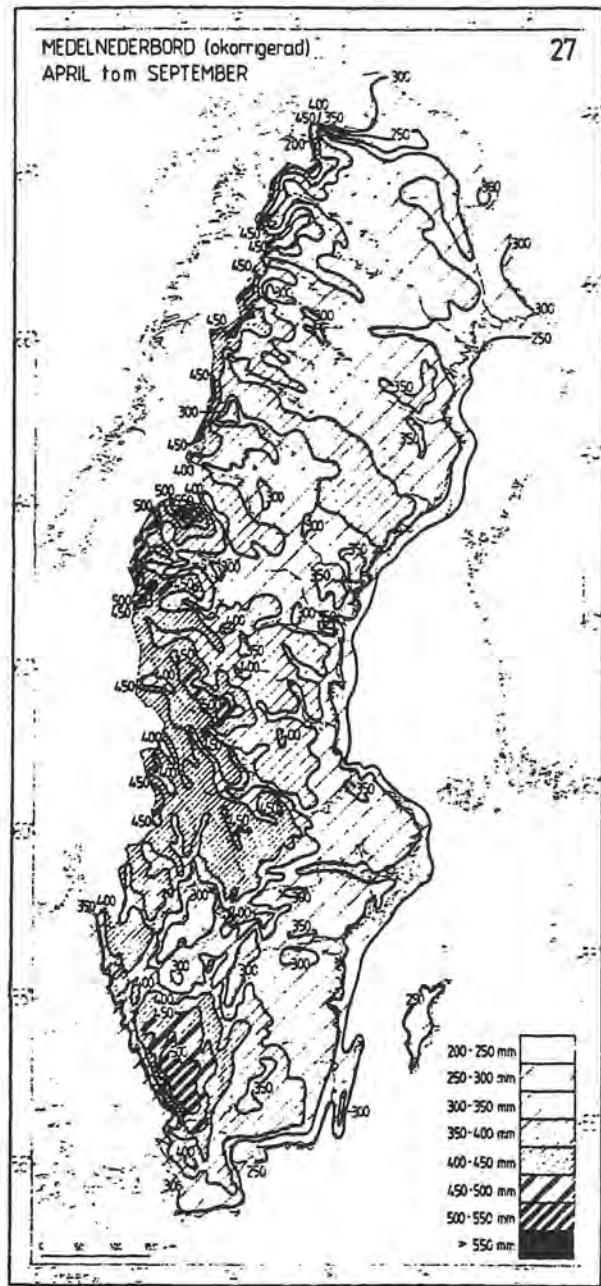
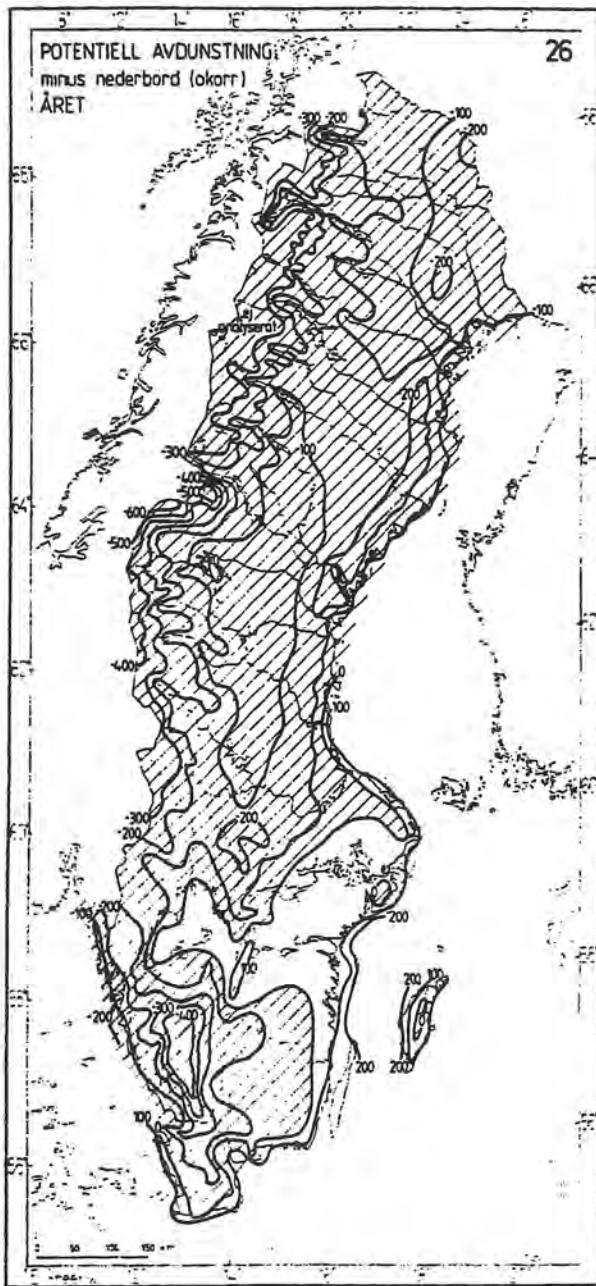
Räknat över ett helt år är, som framgår av karta 26, i medeltal den potentiella evapotranspirationen större än medelårsnederbörden i södra Uppland, Södermanland, Östergötland, delar av norra Västergötland, östligaste Småland, Öland, Gotland (utom de inre delarna) samt längs Blekinge- och Skånekusterna. Den möjliga avdunstningen överskrider årsnederbörden med 0-100 mm.

Tre stationer ger värden över 200 mm nämligen Landsort, Stora Karlsö och Ölands norra udde. De höga värdena är fiktiva och beror främst på att nederbördsmätningarna är behäftade med fel som i genomsnitt för året rör sig om 100 mm.

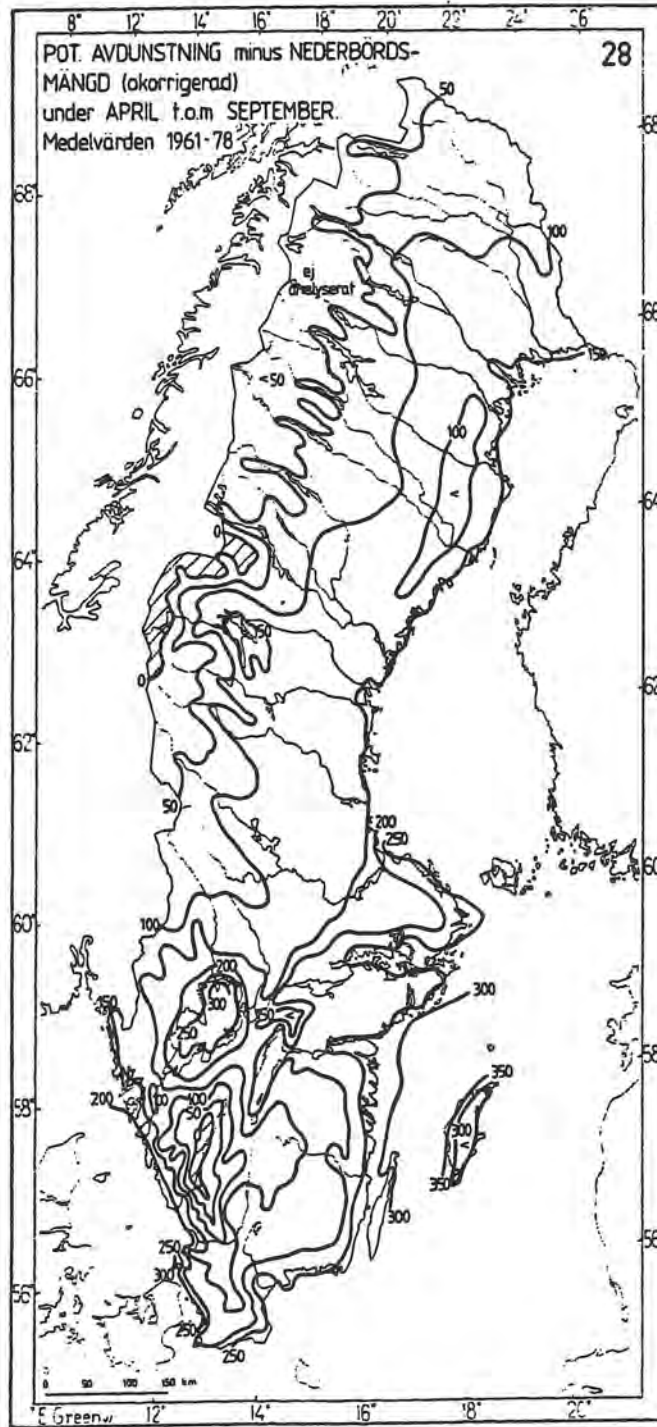
Det är emellertid främst under vegetationsperioden man är intresserad av storleken på skillnaden mellan potentiell evapotranspiration och nederbörd. Karta 27 visar halvårsnederbörden under perioden 1 april till 30 sept. Värdena avser okorrigerade summor. För så gott som hela landet uppmättes under dessa 6 månader i medeltal mellan 300 och 500 mm. Något lägre värden ger vissa kuststationer i östra Sverige, Gotland samt de allra nordostligaste stationerna i Norrland. Värden nära 200 mm ger Abisko, Rödkallen och Stora Karlsö. Men dessa värden är för låga pga stora vindförluster vid nederbördsmätningarna. Nederbördsmaximum i Halland ligger på drygt 550 mm och är sannolikt högre än vad man får i de västra fjällen.

Följande karta, den som illustrerar $\bar{E}_p - \bar{P}$ för tiden april-sept, ger en grov uppfattning om i vilka landsdelar behovet av konstbevattning är störst. Det kan sägas vara de delar av landet, där \bar{E}_p överstiger \bar{P} med mer än 200 mm. Enligt kartan skulle det vara delar av Västgötaslätten, landskapen kring Mälaren och Hjälmararen, Östergötland, Gotland, Öland, östligaste Småland, Blekinge samt Kristianstadsslätten. De områden som har lägsta behoven av konstbevattning kan sägas vara de där årsnederbörden är högst 100 mm lägre än den potentiella evapotranspirationen. Det är västsidan av sydsvenska höglandet samt västra halvan av Norrland och nordvästra Svealand. Inom de nederbördsrika skogsbygderna i gränstrakterna mellan Halland, Småland och





Västergötland faller mer regn under vegetationsperioden än som enligt använda avdunstningsformler kan avdunsta. Samma förhållande torde gälla i de västra fjälltrakterna, men det är endast stationerna Storlien, Vissjövalen, Björkede och Alåsen som bekräftar detta påstående. I undersökningen ingår endast några få stationer som ligger i de västra Lapplandsfjällen, Klimpfjäll och Hemavan, och dessa har relativt låg somrnederbörd och visar positiva värden på differensen $\bar{E}_p - \bar{P}$ för halvåret april-sept.



6 Slutsatser

De presenterade tabellerna samt kartorna över potentiell evapotranspiration och potentiellt nederbördsunder- resp över-skott bör betraktas som mycket osäkra. Man måste ha i minnet de invändningar som kan göras mot förutsättningarna som ligger till grund för använda formler. Både Penmans och Johanssons formler, som har använts, avser evapotranspirationen från växande grödor för vilka optimal vattentillgång i rotzonen finns tillgänglig. Men möjlig avdunstning är beroende av jordart och är olika för olika växtslag. Den maximalt möjliga evapotranspirationen är ej enbart bestämt av rådande väder utan fysiologiska parametrar som ytresistansen är viktiga för avdunstningsmekanismerna. Det är också viktigt att ha i minnet att avdunstningen från växtlighet mycket väl kan överskrida avdunstningen från vattenytor vid samma tillfälle.

Kartorna och tabellvärdena bör ej användas för att få en uppfattning om avdunstningen från snöytor eller från skogsbestånd. Andra formler bör användas i dessa fall. Teorierna för avdunstning, interception och transpiration från skog är väl utvecklade och dessa bör användas för beräkning av total avdunstning från skog (se Lee 1978).

Referenser

- 1 Bengtsson, L Evaporation from a Snow Cover.
Nordic Hydrology, 11, 1980, pp 221-234.
- 2 Bringfelt, B Mikrometeorologiska metoder att bestämma
avdunstning. Vannet i Norden.
Nr 3 1975
- 3 Bringfelt, B A Comparison of Forest Evapotranspira-
tion Determined by Some Independent
Methods
SMHI Rapporter Nr RMK 24 (1980)
- 4 Eriksson, B Sveriges vattenbalans, Årsmedelvärden
(1931-60) av nederbörd, avdunstning och
avrinning.
SMHI Rapporter Nr RMK 18, RHO 21 (1980)
- 5 Lemmelä & Kuusisto, E Evaporation from Snow Cover.
Hydrological Sciences Bull. XIX, 4 (12)
pp 541-548
- 6 Kristensen, K J A Comparison of Some Methods for Esti-
mation of Potential Evaporation.
Nordic Hydrology, 10, 1979
- 7 Kuzmin, P O Hydrophysical Investigations of Land
Waters. Sci. Hydrology Int. Union of
Geodesy and Geophysics. 3.
- 8 Mc Cullough, E C Tables of extra terrestrial solar radia-
tion National Weather Records Center EDS
Asheville, USA (1968)
- 9 Häggström, M Potentiell avdunstning i Velenområdet.
Rapport Nr 14 1973 från HBV/SMHI.
- 10 Johansson, W Beräkning av potentiell evaporation med
ledning av observerade eller skattade
värden för insolation, vindhastighet och
ångtrycksdeficit.
Grundförbättring, 23, 1970
- 11 Lee, R Forest Microclimatology
Columbia University Press New York 1978
- 12 Persson, M Water budget estimations in the Lapp-
träsket basin.
Symp. Northern Research Basins, Edefors,
April 1975
- 13 Thom, A S & Oliver H R On Penman's equation for estimating
regional evaporation.
Quarterly J. of the Royal Met. Soc.
Vol. 103, No 436, April 1977
- 14 Wallén, C C Global Solar Radiation and Potential
Evapotranspiration in Sweden.
Tellus. Vol 18 (1966): 4 Uppsala 1966

SMHI Rapporter

METEOROLOGI OCH KLIMATOLOGI (RMK)

- Nr 1 Thompson T, Udin I och Omstedt A
Sea surface temperatures in waters surrounding Sweden
(1974)
- Nr 2 Bodin S
Development on an unsteady atmospheric boundary layer
model
(1974)
- Nr 3 Moen L
A multi-level quasi-geostrophic model for short range
weather predictions
(1975)
- Nr 4 Holmström I
Optimization of atmospheric models
(1976)
- Nr 5 Collins W G
A parameterization model for calculation of vertical
fluxes of momentum due to terrain induced gravity waves
(1976)
- Nr 6 Nyberg A
On transport of sulphur over the North Atlantic
(1976)
- Nr 7 Lundqvist J-E och Udin I
Ice accretion on ships with special emphasis on Baltic
conditions
(1977)
- Nr 8 Eriksson B
Den dagliga och årliga variationen av temperatur, fuk-
tighet och vindhastighet vid några orter i Sverige
(1977)
- Nr 9 Holmström I och Stokes J
Statistical forecasting of sea level changes in the
Baltic
(1978)
- Nr 10 Omstedt A och Sahlberg J
Some results from a joint Swedish-Finnish Sea Ice Ex-
periment, March 1977
(1978)
- Nr 11 Haag T
Byggnadsindustrins väderberoende, seminarieuppsats i
företagsekonomi, B-nivå
(1978)
- Nr 12 Eriksson B
Vegetationsperioden i Sverige beräknad från temperatur-
observationer
(1978)
- Nr 13 Bodin S
En numerisk prognosmodell för det atmosfäriska gräns-
skiktet grundad på den turbulenta energiekvationen
(1979)
- Nr 14 Eriksson B
Temperaturfluktuationer under senaste 100 åren
(1979)
- Nr 15 Udin I och Mattisson I
Havsis- och snöinformation ur datorbearbetade satel-
litdata - en metodstudie
(1979)
- Nr 16 Eriksson B
Statistisk analys av nederbördsdata. Del I Areaineder-
börd
(1979)
- Nr 17 Eriksson B
Statistisk analys av nederbördsdata. Del II Frekvens-
analys av månadsnederbörd
(1980)
- Nr 18 Eriksson B
Årsmedelvärdet (1931-80) av nederbörd, avdunstning och
avrinning
(1980)
- Nr 19 Omstedt A
A sensitivity analysis of steady, free floating ice
(1980)
- Nr 20 Persson C och Omstedt G
En modell för beräkning av luftföroreningars spridning
och deposition på mesoskala
(1980)
- Nr 21 Jansson D
Studier av temperaturinversioner och vertikal vind-
skjuvning vid Sundsvall/Hörnölands flygfält
(1980)
- Nr 22 Sahlberg J och Törnevik H
A study of the large scale cooling in the Bay of
Bothnia
(1980)
- Nr 23 Hårsmar P-O
Boundary layer measurements at Klockrike, Oct 1977
(1980)
- Nr 24 Bringfelt B
A comparison of forest evapotranspiration determined
by some independent methods
(1980)
- Nr 25 Bodin S och Fredriksson U
Uncertainty in wind forecasting for wind power net-
works
(1980)
- Nr 26 Eriksson B
Graddagsstatistik för Sverige
(1980)
- Nr 27 Eriksson B
Statistisk analys av nederbördsdata. Del III 200-Åriga
nederbördsserier
(1980)
- Nr 28 Eriksson B
Den "potentiella" evapotranspirationen i Sverige
(1980)

SMHI Rapporter

HYDROLOGI OCH OCEANOGRAFI (RHO)

- Nr 1 Weil J G
Verification of heated water jet numerical model,
Stockholm 1974
- Nr 2 Svensson J
Calculation of poison concentrations from a hypothetical accident of the Swedish coast,
Stockholm 1974
- Nr 3 Vasseur B
Temperaturförhållanden i svenska kustvatten,
Stockholm 1975
- Nr 4 Svensson J
Beräkning av effektiv vattentransport genom Sunninge sund,
Stockholm 1975
- Nr 5 Bergström S och Jönsson S
The application of the HBV runoff model to the Filefjell research basin,
Norrköping 1976
- Nr 6 Wilmot W
A numerical model of the effects of reactor cooling water on fjord circulation,
Norrköping 1976
- Nr 7 Bergström S
Development and application of a conceptual runoff model,
Norrköping 1976
- Nr 8 Svensson J
Seminars at SMHI 1976-03-29--04-01 on numerical models of the spreading of cooling water,
Norrköping 1976
- Nr 9 Simons J, Funkquist L och Svensson J
Application of a numerical model to Lake Vänern,
Norrköping 1977
- Nr 10 Svensson S
A statistical study for automatic calibration of a conceptual runoff model,
Norrköping 1977
- Nr 11 Bork I
Model studies of dispersion of pollutants in Lake Vänern,
Norrköping 1977
- Nr 12 Fremling S
Sjöisars beroende av väder och vind, snö och vatten,
Norrköping 1977
- Nr 13 Fremling S
Sjöisars bärighet vid trafik,
Norrköping 1977
- Nr 14 Bork I
Preliminary model studies of sinking plumes,
Norrköping 1978
- Nr 15 Svensson J och Wilmot W
A numerical model of the circulation in Öresund. Evaluation of the effect of a tunnel between Helsingborg and Helsingör,
Norrköping 1978
- Nr 16 Funkquist L
En inledande studie i Vätterns dynamik,
Norrköping 1978
- Nr 17 Vasseur B
Modifying a jet model cooling water outlets,
Norrköping 1979
- Nr 18 Udin I och Mattisson I
Havsis- och snöinformation ur datorbearbetade satellitdata - en metodstudie,
Norrköping 1979
- Nr 19 Ambjörn C och Gidhagen L
Vatten- och materieltransporter mellan Bottniska viken och Östersjön,
Norrköping 1979
- Nr 20 Gottschalk L och Jutman T
Statistical analysis of snow survey data,
Norrköping 1979
- Nr 21 Eriksson B
Sveriges vattenbalans. Årsmedelvärde (1931-60) av nederbörd, avdunstning och avrinning,
Norrköping 1980
- Nr 22 Gottschalk L och Krasovskaia I
Synthesis, processing and display of comprehensive hydrologic information
Norrköping 1980
- Nr 23 Svensson J
Sinking cooling water plumes in a numerical model,
Norrköping 1980
- Nr 24 Vasseur B, Funkquist L och Paul J F
Verification of a numerical model for thermal plumes,
Norrköping 1980
- Nr 25 Eggertsson L-E
HYPOS-ett system för hydrologisk positionsangivelse,
Norrköping 1980
- Nr 26 Buch E
Turbulent mixing and particle distribution in the Himmerfjärd 1978
- Nr 27 Eriksson B
Den "potentiella" evapotranspirationen i Sverige,
Norrköping 1981