

1972

HYDROLOGISKA UNDERSÖKNINGAR I
LAPPTRÄSKETS REPRESENTATIVA OMRÅDE

Rapport III: Avdunstning och vatten-
omsättning.

av M. Persson

Notiser och preliminära rapporter
Serie HYDROLOGI. Nr 24.

SVERIGES METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA INSTITUT
HYDROLOGISKA BYRÅN



1972

HYDROLOGISKA UNDERSÖKNINGAR I
LAPPTRÄSKETS REPRESENTATIVA OMRÅDE

Rapport III: Avdunstning och vatten-
omsättning.

av M. Persson

Notiser och preliminära rapporter
Serie HYDROLOGI. Nr 24.

HYDROLOGISKA UNDERSÖKNINGAR I LAPPTRÄSKETS REPRESENTATIVA OMRÅDE

Rapport nr III: Avdunstning och vattenomsättning.

av

M. Persson

SVERIGES METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA INSTITUT

Notiser och preliminära rapporter

Serie HYDROLOGI. Nr. 24.

Stockholm 1972

HYDROLOGISKA UNDERSÖKNINGAR I LAPPTRÄSKETS REPRESENTATIVA OMRÅDE

Avdunstning och vattenomsättning.

Inledning

Resultaten från de hydrologiska undersökningar, som inom ramen för den internationella hydrologiska dekadens bedrivs i Lappträskets representativa område, presenteras i en serie rapporter av vilka föreliggande rapport är den tredje. I rapport I (Persson 1971) ges en beskrivning av området samt presenteras de mätningar som utförts i området åren 1968 - 70. De geologiska förhållandena beskrivs i en särskild rapport (Melander 1972). Rapport II (Persson 1971) behandlar snömätningarna i området.

Mätningarna syftar bl.a till en beskrivning av vattenomsättningen i området. En sådan beskrivning fordrar en någorlunda säker bestämning av avdunstningen vilket ej kunde göras enbart från de mätningar som gjordes under åren 1968 - 70. Under åren 1971 - 1972 har mätprogrammet därför kompletterats med olika mätningar avsedda som underlag för bestämning av avdunstningen. I denna rapport redogöres för dessa försök att bestämma avdunstningen i Lappträskområdet. Övriga mätningar i området har fortsatt på i stort sett samma sätt som under 1968 - 70.

1. Mätningar för bestämning av avdunstningen.

En avdunstningsstation har inrättats i Pålhem. Stationen ligger alltså ungefär mitt i området (fig 1). Höjden över havet är 275 m och avviker således ej så mycket från områdets medelhöjd (250 m). Mätinstrument har placerats i ett inhägnat område på 6,5 x 17 m i södra delen av byn. Området ligger relativt öppet och är bevuxet med gräs.

Vid stationen finns två avdunstningskärl, dels ett av rysk typ ("GGI 3000") dels ett av amerikansk typ ("Class A pan"). Vidare mätes vind, strålning, solskenstid och strålningsbalans. Med hjälp av dessa mätningar samt de mätningar av lufttemperaturen och luftfuktighet som redan tidigare varit igång i Pålhem kan den potentiella avdunstningen beräknas med den av Penman angivna metoden (Penman 1948).

Den ryska mätaren (GGI 3000) består av två delar (fig 2). Själva avdunstningskärlet är cylindriskt med tvärsnittsarean 3000 cm². Kärlet som är 60 cm djupt är nedgrävt i marken och fyllt med vatten till markytans nivå. Vattenståndet mätes varje morgon kl. 08 med hjälp av en mikrometer som är fäst vid kärlets kant. Mätarens andra del består av en nederbördsjätare (tratt + uppsamlingskärl). Arealen är även här 3000 cm² och mätaren är placerad i marknivå. Nederbördsjätaren avläses samtidigt som vattenståndet mätes. Mätningar med GGI 3000 har bedrivits under perioderna 18/6 - 30/9 1971 och 1/6 - 30/9 1972.

Den amerikanska mätaren (diameter 121 cm, höjd 25 cm) är däremot placerad över markytan (fig 2). Vattenståndet bestäms på samma sätt som för GGI 3000. För nederbördsjätkorrekturen användes samma värden som för GGI 3000. Mätningar har endast skett under perioden 1/6 - 30/9 1972.

Vid stationen har uppförts ett 9,6 meter högt torn på vilket placerats instrument för mätning av solskenstid, vind och inkommande kortvågig strålning (globalstrålning). Vindmätaren är placerad 12 meter över markytan och består av en kontaktanemometer (typ 926/1000 tillv. av R Fuess, Berlin) kopplad till ett räkneverk som avläses dagligen. Mätanordningen ger således total vindväg för varje dygn. Intill Class A Pan sitter på ca 1/2 meters höjd en liten anemometer med räkneverk som avläses samtidigt. Härigenom kan vinden beräknas för olika nivåer.

För bestämning av solskenstiden används en solskensautograf (tillv. av R Fuess). Denna består i princip av en glaskula som bryter samman solstrålarna så att ett spår bränns på en pappersremsa. Inkommande kortvågig strålning mätes med en solarimeter (Kipp & Zonen, Delft) kopplad till en elektronisk integrator. Denna är försedd med två räkneverk. Omkoppling sker automatiskt vid midnatt och den totala inkommande kortvågiga strålningsenergin fås alltså direkt för varje dygn genom avläsning under påföljande dygn. Kalibrering av solarimetern har skett med en Ångströms pyrheliometer. Från toppen av tornet är horisonten praktiskt taget fri åt alla håll med undantag av en smal sektor åt öster där berget Storspiken skjuter upp ca 60° över horisonten. Detta kan knappast ha någon betydelse före mitten av september då solen kan befinna sig bakom berget. Att döma av registreringen av solskenstiden blir felet även under september obetydligt. (Något solsken har i regel ej registrerats förrän långt senare på morgonen).

Vid stationen finns också en strålningsbalansmätare (tillv. av Schenk, Wien) för mätning av totala strålningsbalansen. Mätaren är placerad över gräsbevuxen mark. Underlaget är således ej särskilt representativt för området som till stor del är täckt av skog och myr. Av praktiska skäl har det dock ej varit möjligt att få en helt representativ placering. Strålningsbalansmätaren mäter skillnaden mellan inkommande och utgående totalstrålning (alltså både kort- och långvågsstrålning).

Registreringen sker med en Schenk fallbygelskrivare varför en praktiskt taget kontinuerlig registrering av strålningsbalansen erhålles. Någon kalibrering har ej skett vid mätplatsen utan tillverkarens kalibreringsvärden har använts.

2. Bestämning av den potentiella avdunstningen.

Den potentiella avdunstningen har bestämts på tre sätt nämligen dels med Penmans formel och dels med hjälp av de 2 olika typerna av avdunstningskärl (GGI 3000 resp class A pan).

Penmans formel har tidigare använts för bestämning av potentiell avdunstning i Sverige (Wallén 1966) och förefaller att ge rimliga värden för hela landet. Dess användbarhet är dock begränsad till den snöfria delen av året dvs för Lappträsket ungefär mitten av maj till mitten av oktober. Större delen av avdunstningen sker dock under dessa månader.

Penmans formel anges med smärre modifikationer av olika författare. Här har använts den version som angetts av Penman 1956. Denna version av formeln kan skrivas på följande sätt:

$$E = \frac{\frac{D}{g} \left[R(1-r) - sT^4(a - b\sqrt{e})(1 - 0,9 m) \right] + c(0,5 + dV)(e_s - e)}{\frac{D}{g} + 1}$$

Följande beteckningar användes:

Meteorologiska storheter:

E = potentiella avdunstningen (i mm vp/dygn
eller kg/m^2 , dygn)

$D = \left(\frac{de_s}{dT} \right)_T$ (mb/grad)

e_s = mättnadsångtrycket vid temperaturen T (mb)

T = lufttemperaturen ($^{\circ}\text{K}$)

R = globalstrålning (Ws/m^2 , dygn)
 r = ytans albedo (reflexionskoefficient)
 e = luftens ångtryck (mb)
 m = molnigheten ($m=0$ klart; $m=1$ mulet)
 m kan också bestämmas ur $n = 1 - n/N$
 vilket skett i detta fall
 n = den verkliga solskenstiden (timmar)
 N = den astronomiskt möjliga solskenstiden (timmar)
 v = vindstyrka på 2 meters höjd (m/s)

Fysikaliska konstanter:

g = psykrometerkonstanten = $0,66 \text{ mb/grad}$
 L = ångsbildningsvärmén = $25 \cdot 10^5 \text{ Ws/kg}$
 (eg. $L = L_0 - kT$ där $L_0 = 3328000 \text{ Ws/kg}$
 och $k = 2905 \text{ Ws/kg, grad}$)
 s = Stefan-Boltzmanns konstant = $0,00492 \text{ Ws/m}^2, \text{ grad}^4, \text{ dygn}$

Empiriska konstanter angivna av Penman:

$a = 0,56$
 $b = 0,080 \text{ mb}^{-1/2}$
 $c = 0,26 \text{ kg/m}^2, \text{ mb, dygn}$
 $d = 0,53 \text{ s/m}$

Ytans albedo har ej bestämts för Lappträskområdet utan en uppskattning måste göras med hjälp av mätningar gjorda på andra platser. För gräsmatta har i Danmark uppmätts värden mellan 0,22 och 0,25 (Aslyng 1965). För skog anges lägre värden (0,10 - 0,15). Skogen är emellertid gles i Lappträskområdet och stora arealer är kalhyggen och myrar varför albedot sannolikt är något högre än för skog. Vid beräkning för Lappträsket har använts värdet 0,2. Vinden vid 2 meters höjd har bestämts ur mätningarna på 12 meters höjd med hjälp av logaritmiska vindlagen. Korrektionsfaktorn har bestämts till 0,7.

Den astronomiskt möjliga solskensstiden N erhålles ur $N = \frac{t}{7,5}$ där t är solens timvinkel (i grader) vid solnedgång. t fås ur $\cos t = -\tan \phi \tan \delta$ där ϕ är ortens latitud och δ solens deklination (om $-\tan \phi \tan \delta < -1$ blir $N = 24$ timmar).

Den verkliga solskensstiden erhålles ur registreringen från solskensautografen. Det på så sätt bestämda värdet på kvoten n/N innehåller emellertid ett fel som särskilt vid Pållems höga latitud kan bli avsevärt. Då solen står mycket nära horisonten (vilket vid midsommar är fallet under flera timmar) sker ingen registrering på solskensautografen ens vid klar himmel. Detta beror dels på att solstrålningen försvagas av atmosfären dels på att mätaren delvis skuggar sig själv då solen står långt åt norr. Värdet på kvoten n/N har därför korrigerats med en faktor vars storlek vid midsommar är ca 1,3 och som i september sjunkit till 1,05. Dessa värden har erhållits genom jämförelser mellan uppmätta och beräknade värden för dagar då solnedgång skett vid klar himmel. Genom att använda uttrycket $1 - n/N$ som mått på molnigheten har man antagit samma medelmolnighet under dagen och natten vilket kan ge ett systematiskt fel åtminstone i slutet av sommaren då nattens längd ökar (jfr dock nedan).

Totala strålningsbalansen så som den beräknas i Penmans formel (dvs faktorn $[R(1-r) - sT^4 (a - \sqrt{e})(1 - 0,9 m)]$ har jämförts med den uppmätta strålningsbalansen. Jämförelsen har endast gjorts för var 10:e dag under sommaren 1972. Resultatet framgår av fig. 4. Strålningsbalansen har beräknats dels med albedot 0,20 dels med albedot 0,25. Den uppmätta strålningsbalansen kan som framgår av fig. 3 för enstaka dagar avvika rätt mycket från dessa värden. Avvikelsen är emellertid ej systematisk utan medelvärdet motsvarar ett albedo på 0,23 vilket stämmer väl överens med ovannämnda värden för gräsmatta. För längre perioder förefaller det således som om detta sätt att beräkna strålningsbalansen ger rimliga värden. Eventuella fel i kvoten n/N ger tydligen inte heller något påtagligt systematiskt fel i strålningsbalansvärdena.

För att Penmans formel skall kunna användas även då strålningsmätningar saknas anger Penman en formel för beräkning av globalstrålning ur solskenstiden nämligen $R = R_A (k \cdot n/N + P)$ där R_A är den astronomiskt möjliga instrålningen, $k = 0,55$ och $P = 0,18$. För att undersöka denna formels giltighet i Lappträskområdet har R/R_A och n/N bestämts för varje dag under sommaren 1971 och 72.

R_A har bestämts ur formeln

$$R_A = \frac{86400}{\pi} (t \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \sin t)$$

där S är solarkonstanten = 1350 W/m^2 (varierar under året 3 % högre i januari 3 % lägre i juli).

t = solens timvinkel i radianer vid nedgång (se sid 6)

ϕ = latituden

δ = solens deklination

Koefficienterna k och P har bestämts med minsta kvadratmetoden för varje månad.

Resultat:

	k	P	korrelation
1971 juni (16-30)	0,43	0,27	0,94
juli	0,51	0,25	0,95
aug	0,53	0,26	0,96
sept	0,55	0,20	0,84
1972 maj	0,58	0,25	0,92
juni	0,54	0,17	0,97
juli	0,43	0,26	0,86
aug	0,57	0,19	0,94
sept	0,63	0,18	0,93
medelvärde	0,53	0,22	

Medelvärdet stämmer således rätt väl med Penmans värden men vid beräkning av dagliga värden kan felet uppenbarligen bli ganska stort. Formeln bör alltså endast användas vid beräkning för längre perioder.

Med hjälp av Penmans formel har den potentiella avdunstningen beräknats för varje dag under perioderna 16/6 - 30/9 1971 och 20/5 - 30/9 1972 (med undantag för tiden 5-11/7 1972 då strålningsmätarenej fungerade). Beräkningarna har utförts med hjälp av en Hewlett-Packard minidator.

I fig 4 och 5 visas den ackumulerade potentiella avdunstningarna räknat från 17/6 1971 resp 1/6 1972. I dessa figurer har även inritats motsvarande värden från avdunstningskärlen. Månadssummorna återfinns i tabell I.

Vid jämförelse mellan avdunstning från avdunstningskärlen och avdunstningenl. Penmans formel, bör albedo för vattenytan användas i formeln. En vattenytas albedo varierar ju med solhöjden enligt följande: (se t.ex. Smithsonian meteorological tables)

solhöjd:	5°	10°	20°	30°	40°	50°	90°
albedo:	0,58	0,35	0,13	0,06	0,034	0,025	0,020

På grund av Pållems höga latitud blir albedot för vattenytan relativt högt. Fig 6 visar det "effektiva albedot" (dvs viktat dygnsmedelvärde där vikterna är solstrålningens energi) för olika tider på sommaren. Den med detta albedo beräknade avdunstningen är också medtagen i fig 5 och tabell I.

Som framgår av fig 5 och tabell I är avdunstningen från class A pan betydligt större än från GGI 3000. Liknande resultat mer med mindre skillnader har erhållits i Velens representativa område (Hedin 1971). Skillnaden mellan CGI 3000 och class A pan torde bero på att class A pan som omges av luft på alla sidor kan uppvärmas mera på försommaren än GGI 3000 som avkyles av den ännu relativt kalla marken. Skillnaden minskar under sensommaren. För att värden från class A pan skall kunna användas måste de korrigeras. Ofta användes en faktor 0,7. I USA har dock visats (Kohler m fl. 1955) att denna korrektion är otillräcklig och i vissa fall kan ge avsevärda fel. I det nämnda arbetet rekommenderas i stället följande formel:

$$E = 0,70 \left[E_p \pm 0,00064 \alpha_p P (0,37 + 0,22 u) |\Delta T|^{0,88} \right]$$

där E_p är den uppmätta avdunstningen (i mm/dygn) α_p en faktor som erhålles ur nomogrammet i fig 7 (gäller för 300 m ö h; för högre höjd något högre värde).

u = vinden i m/s

ΔT = temperaturskillnad i $^{\circ}\text{C}$ mellan luft och vattnet i class

A pan; plustecken gäller då vattentemperaturen är högre än lufttemperaturen. Korrektion enbart med faktorn 0,7 är alltså endast användbar då skillnaden mellan luft- och vattentemperaturen är liten. För stationen i Pålken har endast korrektion med faktorn 0,7 kunnat göras på grund av termometerfel. De på så sätt korrigerade värdena återfinns i tabell I. Överensstämmelsen mellan class A pan och GGI 3000 blir nu relativt god under augusti och september medan en skillnad kvarstår under juni och juli. Penmans formel ger värden som i genomsnitt ligger något över de korrigerade värdena från class A pan (spec. under juli medan de under september ligger lägre). Som jämförelse kan nämnas en undersökning i England (Pegg och Ward 1972) där följande resultat erhöles:

månad	maj	juni	juli	aug	sept	okt (1967)
class A pan						
korrr. med						
0,7	40,9	72,6	78,2	66,6	34,1	24,0
Penman (alb.						
0,25)	56,4	89,6	100,0	65,2	37,4	21,4

Även här ligger Penmans värden något över, speciellt under högsommaren, men sjunker relativt class A pan under hösten.

I stort sett förefaller Penmans formel att ge ett rimligt värde på den potentiella avdunstningen under sommaren i Lappträskområdet. Jämförelsen med avdunstningskärlen tyder i varje fall på att de erhållna värdena ej är för låga. Dessa slutsatser gäller emellertid endast månadssummorna. Vid beräkning av dagliga värden förefaller osäkerheten vara rätt stor. Som framgått ovan (sid 7) torde det i sådana fall vara nödvändigt att mäta globalstrålningen.

Även om så sker kan som framgår av fig 3 avvikelserna bli rätt stora. En viss försiktighet måste därför iakttagas vid användning av dagliga värden t.ex i modeller.

3. Beräkning av verklig avdunstning under sommaren.

Då den verkliga avdunstningen för ett område ej kan bestämmas direkt med någon enkel metod måste den bestämmas mer eller mindre indirekt ur andra mätningar. Olika metoder finns för dessa beräkningar (Forsman 1959). Ofta utgår man från den potentiella avdunstningen och försöker på något sätt beräkna hur stor del härav den verkliga avdunstningen utgör. För att den verkliga avdunstningen skall uppnå den potentiella fordras givetvis ständig tillgång på vatten vid markytan. Markvattenhalten i de översta skikten spelar alltså stor roll i detta sammanhang. Avdunstning kan ske så länge växterna kan uppta vatten för sin transpiration. Då vissningsgränsen uppnås upphör avdunstningen. Då marken är mättad med vatten (dvs fältkapaciteten uppnådd) antas avdunstningen vara lika med den potentiella. Hur avdunstningen varierar mellan dessa båda punkter är mera osäkert. Ibland antages ett lineärt samband. Ibland antas avdunstningen vara lika med den potentiella ända tills vissningsgränsen uppnås.

Eftersom markvattenhalten oftast inte är känd måste den då beräknas på något vis. Man kan t.ex utgå från en tidpunkt då fältkapaciteten kan antas vara uppnådd. Om man sedan antar att avdunstningen är lika med nederbörden - markvattenmagasinets ökning ($E = P - \Delta m$) kan markvattenhalten vid nästa tidpunkt beräknas ur avdunstningen under den mellanliggande perioden.

I Lappträsket finns emellertid mätningar av markvattenhalten vid månadsskiftena. Man skulle därför med samma antagande om samband mellan avdunstning, nederbörd och markvatten kunna bestämma avdunstningen under en månad helt oberoende av fältkapacitet, vissningsgräns och potentiell avdunstning.

Det nämnda antagandet ($E = P - \Delta m$) har emellertid mycket begränsad giltighet. Visserligen kan man kanske vid de måttliga nederbörds-mängder det är fråga om försumma ytavrinnir en men man kan i regel inte försumma den del av nederbörden som under månaden tillförs grundvattenmagasinet ("grundvattenbildningen"). Genom att studera resultatet från de brunnar där vattenståndsregistrering sker kan man avgöra under vilka månader någon större grundvattenbildning ägt rum. Det visar sig då att under aug och sept 71 samt under juli och aug 72 har grundvattenbildningen varit relativt obetydlig. Under dessa månader borde alltså sambandet $E = P - \Delta m$ ge ett rimligt värde på avdunstningen medan det för de övriga månaderna bör ge ett för högt värde.

I tabell I anges värden på $P - \Delta m$ för de olika månaderna (Δm avser skiktet 0 - 1 m). Det erhållna värdet på E gäller således för den typ av mark där markvattenrören är placerade dvs. i huvudsak moränmark. Det bör påpekas att man vid alla beräkningar där man använder data från grundvatten- och markvattenrör måste räkna med en osäkerhet beroende på svårigheten att bedöma hur representativa dessa data är för området.

Av tabellen framgår att för aug och september 71 och för juli och augusti 72 överensstämmer värdena på $P - \Delta m$ ungefär med värden beräknade med Penmans formel. Som ovan nämnts (sid 9) förefaller det inte troligt att Penmans formel skulle ge för noga värden på den potentiella avdunstningen. Avdunstningen under de nämnda månaderna ligger alltså nära den potentiella. Som framgår av fig 8 är markvattenhalten lägst i augusti vilket skulle tyda på att den potentiella avdunstningen i stort sett uppnåtts under hela 1971 och 1972 (jfr. dock nedan).

För de månader då grundvattenbildningar ej kan försummas har ett försök gjorts att uppskatta dess storlek. Detta är emellertid svårt då kontinuerlig registrering av vattenstånd under de båda aktuella somrarna endast skett i 2 grävda brunnar (i Pålken och Vuoddas).

Brunnen i Fålkem förefaller att vara mest representativ för området (dvs variationerna stämmer bättre med medelvärdet av variationerna i alla rör) varför den har använts. Grundvattenbildningen (G') har beräknats på följande sätt:

$G' = \frac{B'}{B} \cdot \Delta m_g$ där Δm_g är ändringen i hela områdets grundvattenmagasin beräknad ur medelvärdet av vattenståndsändringarna i alla rör. För varje månad har medelvärdet av vattenståndsändringarna i alla rören tagits varefter omräkning gjorts till grundvattenmagasin varvid antagits en effektiv porositet på 5 % (se Rapport I). B är vattenståndets ändring i brunnen under samma tid och B' är summan av alla vattenståndsstegringar i brunnen under perioden. Det på så sätt beräknade värdet på G' återfinns i tabell I. Osäkerheten är emellertid mycket stor. Som exempel kan nämnas att om beräkningen i stället utföres med hjälp av brunnen i Vuodas blir värdet på G' för sept 72 ca 30 mm vilket skulle ge överensstämmelse med Penmans formel.

För juli 71 gäller emellertid oavsett hur stor grundvattenbildningen är att värdet på $P - \Delta m - G'$ är betydligt lägre än värdet enligt Penmans formel vilket skulle kunna tolkas som att avdunstningen då ej uppgått till den potentiella. Som framgår av fig 8 har emellertid under 1971 ej uppmätts lägre värden på markvattenhalten än under 1972. En tänkbar förklaring vore att det översta skiktet vore mera uttorkat, då juni 71 var betydligt torrare än juni 72. Mätningarna visar dock att så ej var fallet. Däremot är det möjligt att markvattenhalten under juli 71 sjunkit till så låga värden att avdunstningen av detta skäl minskat men att den sedan stigit igen före nästa mätning. Nederbörden under juli 71 var nämligen koncentrerad till månadens slut.

För ett klarläggande av dessa förhållanden vore det önskvärt med dels tätare markvattenmätningar åtminstone vid en eller ett par stationer under sommarens torraste del dels mycket tätare mätningar eller helst registrering av grundvattenståndet under sommaren vid ett antal grundvattenrör.

Sammanfattningsvis kan sägas att för den större delen av Lappträskområdet som ej upptas av myrar gäller att avdunstningen i allmänhet uppgår till den potentiella med undantag för någon enstaka månad under torra år. För myrarna torde man hela tiden kunna räkna med den potentiella avdunstningen. För beräkning av den potentiella avdunstningen under sommaren förefaller Penmans formel att vara lämplig.

4. Beräkning av verklig avdunstning under vintern. Vattenbalans.

Tidigare har för Lappträskområdet årligen gjorts en uppställning av vattenomsättningen månadsvis. Då månadsvärden på avdunstningen saknats har dessa uppställningar ej blivit fullständiga. Med de beräkningar som nu gjorts kan mera fullständiga scheman över vattenomsättningen göras. Detta fordrar emellertid en bestämning av avdunstningen under den snötäckta delen av året.

Penmans formel med ovan angivna värden på konstanterna gäller ej under vintern. Några direkta mätningar av snöavdunstningen har ej gjorts i området. Däremot sker en kontinuerlig registrering av snötrycket vid 6 stationer utrustade med snökuddar. Dessa mätningar finns närmare beskrivna i rapport II (Persson 1971). I princip borde det vara möjligt att bestämma avdunstningen (eller kondensationen) genom att undersöka snötryckets ändring under nederbördsfria perioder. Under vintern 70/71 och 71/72 har sammanlagt 26 nederbördsfria perioder av minst 3 dygns längd under tiden november-april undersökts. (En period har ansetts som nederbördsfri då ingen av de 5 nederbördsstationerna i området rapporterat någon nederbörd). Den genomsnittliga minskningen i det registrerade snötrycket under dessa perioder var 0,16 mm vp/dygn. Spridningen är emellertid mycket stor (0,50 mm). Den stora spridningen orsakas sannolikt till största delen av temperatureffekter i mätapparaturen (speciellt i vätskan i det till snökudden anslutna öppna stigröret där vätskenivån registreras).

Särskilt under våren förekommer det dygnsperiodiska variationer i registreringarna som försvårar beräkningen av tryckändringar under korta intervall. Dessa variationer har ännu ej fått någon tillfredställande förklaring. Möjligen är även det någon temperatureffekt. Den genomsnittliga temperaturändringen under de 26 perioderna är endast $0,05^{\circ}$. Ett tydligt samband finns mellan lufttemperaturändringen (mätt i Pålkem) och de registrerade tryckändringarna (korrelationen är dock endast 0,52). Om denna effekt elimineras erhålles istället spridningen 0,4. För en hel månad erhålles då tryckminskningen 4 mm med medelfelet 2,5 mm. Några årstidsvariationer eller något samband med lufttemperaturen har ej kunnat spåras. Undersökningarna som gjorts av avdunstning från snöyta i Abisko (Nyberg 1965) och i Velenområdet (Nyberg-Härsman 1971) visar emellertid att avdunstningen är liten under den kallaste delen av vintern och ofta mindre än kondensationen medan avdunstningen stiger kraftigt under snöperiodens sista del.

Det är tveksamt om snökuddar kan användas för någon noggrann bestämning av avdunstning och kondensation. I varje fall fordras att orsakerna till de dygnsperiodiska variationerna är klarlagda. Det torde också vara nödvändigt att ha en kontinuerlig registrering av vätsketemperaturen i stigröret.

Tillsvidare användes det erhållna värdet på 4 mm/månad varvid dock får påpekas att det sannolikt är för högt under midvintern och för lågt under vårvintern. Vidare bör observeras att det endast grundar sig på nederbördsfria perioder vilket kan ge systematiska avvikelser från det verkliga värdet.

Ett speciellt problem är avdunstningen under den period då snösmältning pågår (dvs under 1972 ungefär 1-20 maj). En beräkning med Penmans formel för denna period med antagande att albedot är 0,4 (vilket är ett lågt värde för snö) skulle ge ca 20 mm avdunstning för hela perioden. Samtidigt skall under perioden smältas snö för vilket åtgår energi motsvarande ca 25 mm. Då man inte vet hur stor del av denna energi som tas från den tillgängliga strålningsenergin får värdet 20 mm snarast anses som ett högsta värde på avdunstningen under perioden.

I tabell II och III redovisas vattenomsättningen för åren okt 70-sept 71 och okt 71 - sept 72. Till skillnad från motsvarande uppställningar från föregående år (Rapport I) har nu även avdunstningen tagits med. Alla termerna kan nu alltså bestämmas i stort sett oberoende av varandra och resttermen blir endast en summa av felen i beräkningarna. Nederbörd, avrinning och magasinstermer har beräknats på samma sätt som beskrivs i Rapport I. Således har nederbörden bestämts under juni - sept med 25 - 30 totalisatorer medan den under resten av året bestämts med 5 nederbördsräknare. En jämförelse mellan nederbördsräknare och ändring i snömagasin under årets kallaste månader då ingen nämnvärd smältning förekommer och då avdunstning som nämnts ovan troligen är mycket liten visar dock god överensstämmelse. Snömagasinet har bestämts med hjälp av snötaxering och snökuddar. Som ändring i markvattenmagasinet har tagits medelvärden av ändringen i de 11 rören i skiktet 0 - 1 m. Under vintern 70/71 var mätningarna fåtaliga och fördelning på de olika månaderna har ej kunnat göras med någon säkerhet. För beräkning av totala magasinsändringen har interpolerade värden använts.

För beräkning av grundvattenmagasinet har liksom tidigare använts en effektiv porositet på 5 % för moränmark.

För avdunstningen har Penmans formel använts för sommaren (utom för juli 71 där det lägre värdet 73 mm i tabell I använts). För vintern har använts det ovan beräknade värdet 4 mm/månad. För perioden 1-20/5 72 antages ett värde på 10 mm (jfr ovan sid 14). För juni 71 finns beräkning enligt Penman endast för senare halvan av månaden. Här har antagits att avdunstningen fördelar sig på samma sätt som under juni 72. För maj 71 saknas beräkning av avdunstningen helt. I tabellen har motsvarande värde för 1972 använts. I oktober 1970 finns ingen snö och temperaturen är något högre än i oktober 71. Avdunstningen är troligen något högre än i oktober 72. Den bör dock vara betydligt lägre än under september.

Ett värde på 10 mm har använts i tabellen. Den på så sätt bestämda avdunstningen återges även i fig 9.

Som framgår av tabell II och III blir resttermen negativ båda åren. Resttermen härrör huvudsakligen från tiden maj - sept. Felet är koncentrerat till maj och juni. Det sistnämnda förhållandet kan åtminstone till stor del förklaras av myrarnas inverkan. I uppställningarna i tabell II och III antas nämligen att magasineringen i myrarna är lika stor som i markvattenzonen i övriga marker vilket kan leda till stora fel. Den undersökning av Solmyren i norra delen av Lappträskområdet som utfördes under juli - sept 1971 (Häggström m fl. 1972) tyder bl.a på att avrinningen från myrar sker ungefär som från en sjö. Avrinningen från myrarna efter snösmältningen skulle alltså ske mycket snabbare än från övriga marker där en stor del magasineras i markvattenmagasinet vilket sedan tömmes långsamt under hela sommaren.

Om man t.ex. gör det enkla antagandet att magasineringens minskningen per ytenhet i myrarna under juni - aug är lika stor som markvattenmagasinets minskning i övriga marker men i stället helt koncentrerad till juni månad skulle detta ändra resttermen till följande värden:

	juni	juli	aug
1971	-20	0	-7
1972	-25	-12	+4

Resttermen skulle således bli avsevärt utjämnad. För att klarlägga om resttermens koncentration till maj/juni helt beror på myrarnas inverkan fordras dock en undersökning av myrarnas magasinering under hela året och speciellt under tiden strax efter snösmältningen.

Detta har emellertid ingen nämnvärd inverkan på resttermens storlek för hela året vilken måste förklaras på annat sätt. Då magasinstermerna ej har något större inflytande på den årliga resttermen måste felet till största delen ligga i avrinning, nederbörd eller avdunstning.

Att det skulle finnas ett så stort fel i avrinningen (ung 20 %) är osannolikt. Osäkerheten i nederbörden är större. Genom termens storlek har även ett procentuellt litet fel stor inverkan på resttermen. Om felet helt skulle ligga i nederbörden skulle det innebära att den verkliga nederbörden ligger ca 10 % över den uppmätta. Nederbördsräknare ger ofta för låga värden beroende på avdunstning, vindeffekter m.m. Den av svenska IHD-kommittén tillsatta arbetsgruppen för nederbörd lämnar vissa rekommendationer för hur avlästa värden på regnnederbörd skall korrigeras. Tillämpas dessa värden på mätningarna i Lappträsket erhålles mycket små korrekationer varför denna effekt tydligen är mycket mindre än ovannämnda 10 %. I avvaktan på fullständiga rekommendationer har inga korrekationer gjorts.

Sannolikt ligger dock det mesta av felet i avdunstningstermen. Det kan nämnas att resttermen inte ens är dubbelt så stor som den mycket osäkra uppskattningen av vinteravdunstningen. Ett fel i uppskattningen av albedot för området har en inte obetydlig inverkan. Om albedot är 0,25 istället för det antagna 0,20 skulle den årliga resttermen reduceras ungefär till hälften. För att uppnå större säkerhet i bestämningen av avdunstningen bör albedomätningar utföras över några representativa marktyper såsom myrar, kalhyggen och om möjligt även över skog.

Om felet i bestämningen helt skulle ligga i avdunstningstermen skulle således det ur uttrycket P-A- Δ m bestämda värdet på årsavdunstningen vara riktigare. Detta värde har också medtagits i tabellerna II och III. Om månadsvärdena för avdunstningen under sommaren skulle reduceras så att den årliga resttermen blev 0 skulle man erhålla de värden som markerats med streckade staplar i fig 9.

I tabell IV ges en sammanfattning av olika avdunstningsbestämningar under tiden 1968-72.

Sammanfattning

Penmans formel förefaller att ge rimliga månadsvärden på den potentiella avdunstningen. En viss osäkerhet råder dock på grund av att markytans albedo ej är så väl känd. Mätningar av albedo bör därför utföras i Lappträskområdet. För dagliga avdunstningsvärden är osäkerheten större.

Den verkliga avdunstningen ligger i Lappträskområdet nära den potentiella. För en noggrannare bestämning av relationen mellan verklig och potentiell avdunstning vore det önskvärt med följande mätningar: Registrering av eller åtminstone mycket täta avläsningar av grundvattenståndet i ett antal rör under sommaren. Täta markvattenmätningar under de torraste månaderna vid åtminstone någon station. Undersökning av myrarnas magasinering under hela året och speciellt efter snösmältningen.

Avdunstning från snö är svår att bestämma med snökuddar. En någorlunda säker bestämning skulle i varje fall fordra registrering av temperaturen i olika delar av mätapparaturen.

Referenser:

- Aslyng, Jensen: "Radiation and Energy Balances at Copenhagen 1955 - 1964". Den kgl veterinär og Landbohøjskole. Årsskrift 1966.
- Forsman A.: "Vattenavdunstningen" kompendium SMHI 1959
- Hedin L.: "Hydrologiska undersökningar i Velens representativa område: Rapport I" SMHI Notiser och prel. rapporter Ser. Hydrologi nr 14 1971.
- Häggström, Jansson, Runesson, Simeonides: "Hydrologisk undersökning av Solmyren och dess nederbördsområde". IHD report nr 20. Stockholm 1972.
- Kohler, Nordensson, Fox: "Evaporation from pans and lakes" US Dep. of commerce. Research paper no 38. Wash 1955
- Melander, O: "Beskrivning till jordartskarta över Lappträskets representativa område". SMHI Notiser och prel. rapporter Ser Hydrologi nr 23
- Nyberg, A: "A study of the evaporation and the condensation at a snow surface" SMHI, Medd. Ser B nr 18
- Nyberg, Hårsmar: "Mätningar av avdunstning, kondensation samt snösmältning från en snöyta" SMHI Notiser och prel. rapporter Ser Meteorologi nr 25, 1971

- Pegg, Ward: "Evaporation from a small clay catchment"
Journal of Hydrology Vol XV no 2
- Penman, H.L. "Natural evaporation from open water, bare
soil and grass". Royal Society of London
Proceedings Series A 193, 1948
- Penman, H.L. "Estimating Evaporation" Transactions, Am.
Geophysical Union. Vol 37 no 1, 1956
- Persson M. "Hydrologiska undersökningar i Lappträskets
representativa område Rapport I
SMHI Notiser och prel. rapporter. Ser
Hydrologi nr 12 1971
- Persson M. "Hydrologiska undersökningar i Lappträskets
representativa område Rapport II: Snö-
mätningar med snörör och snökuddar" SMHI
Notiser och prel. rapporter Ser Hydrologi
nr 13 1971
- Wallén, C.C. "Global solar radiation and potential eva-
potranspiration in Sweden" SMHI Medd. Ser B
Nr 24, 1966.

Tabell I

Avdunstning i Lappträskområdet (i mm)

	1971			summa	1972				summa
	juli	aug	sept		juni	juli	aug	sept	
"Class A pan"									
okorrigerad					126	123	70	39	358
korrr. med faktor 0,7					88	86	49	27	250
"GGI 3000"	72	52	27	151	64	68	45	28	205
Penmans formel									
albedo = 0,2	95	62	20	177	86	104	56	19	265
vattenyta					99	122	65	20	306
Verklig avdunstn.									
enligt $E = P - A_m$	73	71	22		108	108	52	52	
Grundvattenbildn.									
G'	16	0	3		32	0	0	15	
Verklig avdunstn.									
enligt $E = P - A_m - G'$	57	71	19		76	108	52	37	

A_m betecknar här markvattenmagasinets ökning i skiktet 0-1 m

Tabell II

Vattenomsättning för hela Lappträskområdet oktober 1970- september 1971 (i mm)

	okt	nov	dec	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	hela året
Nederbörd (P)	69	36	35	42	58	18	26	35	21	64	39	23	466
Avrinning (A)	42	15	9	7	5	5	5	136	54	13	11	6	308
Magasinsändringar (Δm)													
Markvatten 0-1 m	$\leftarrow +14 \rightarrow$				$\leftarrow +15 \rightarrow$								
Grundvatten	+1	-12	-14	-11	-9	-7	+0	+54	-6	-10	-14	-9	-37
Snö	0	+27	+35	+42	+57	+24	+19	-204					0
Sjöar	0	-5	-1	-1	0	-1	0	+17	-12	-1	0	0	-4
Summa	+10	+15	+25	+35	+50	+19	+18	-103	-81	-18	-46	-8	-84
Avdunstning (E)	(10?)	4	4	4	4	4	4	(29?)	(80)	73	62	20	298
Restterm													
($R=P-A-\Delta m-E$)	(+7)	+2	-3	-4	-1	-10	-1	(-27)	(-32)	-4	+12	+5	-56
P-A- Δm													242
lufttemperaturen	+0,6	-7,5	-6,2	-9,5	-11,8	-10,4	-2,6	4,7	11,8	13,2	12,0	5,8	+ 0,0

Tabell III

Vattenomsättning för hela Lappträskområdet oktober 1971- september 1972 i mm

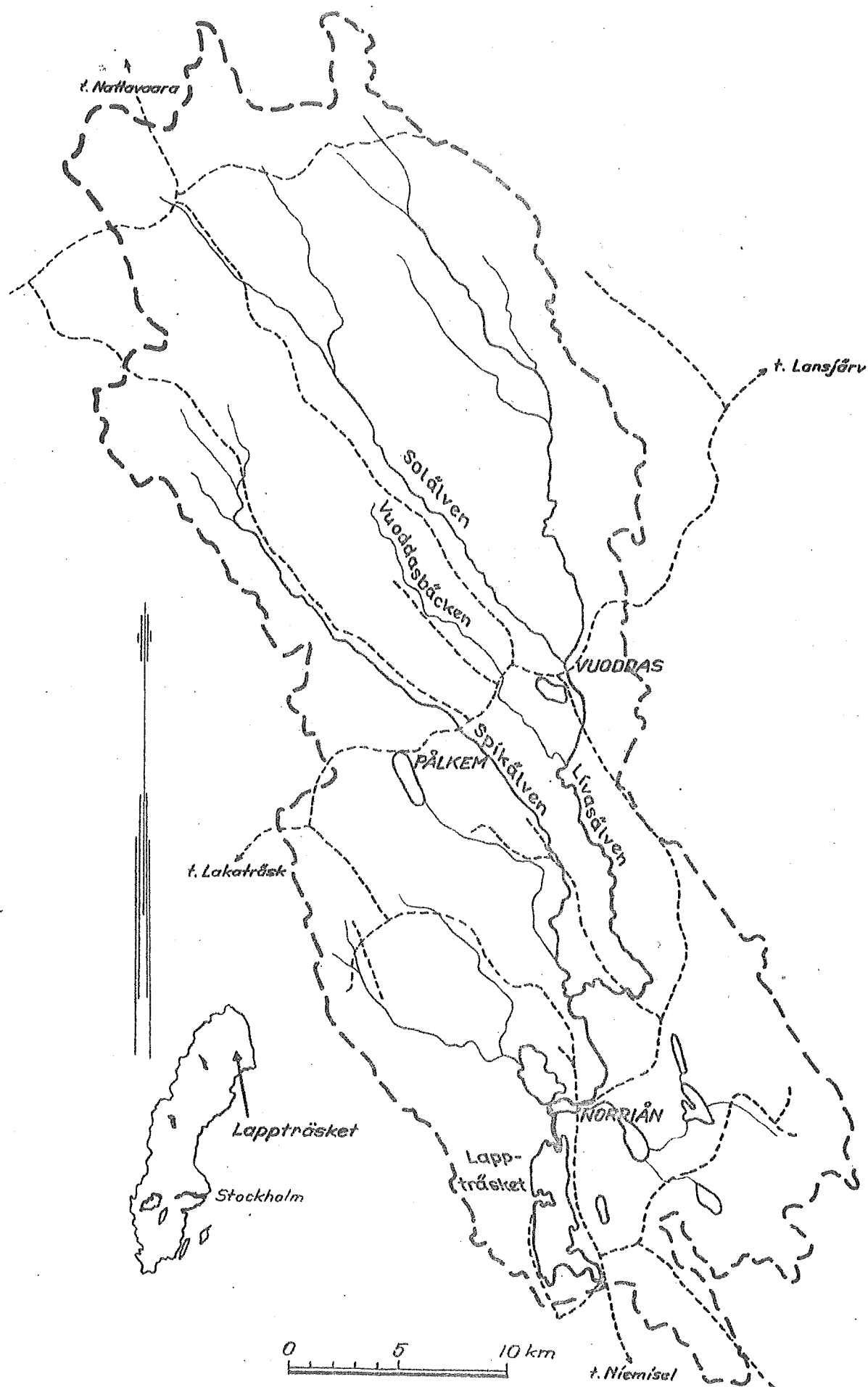
	okt	nov	dec	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	hela året
Nederbörd (P)	72	60	52	17	15	22	71	37	74	46	45	78	589
Avrinning (A)	8	12	8	6	5	4	7	138	76	24	8	12	309
Magasinsändringar (Δm)													
Markvatten 0-1 m	+18	+16	-2	-1	+7	+10	+8	+36	-34	-62	-7	+26	+13
Grundvatten	+5	-5	-9	-9	-8	-5	+24	+30	+1	-19	-16	+11	+1
Snö	+40	+36	+50	+12	+15	+15	+28	-196					0
Sjöar	+2	-1	-1	-1	0	0	+4	+16	-9	-8	-2	+4	+4
Summa	+65	+46	+38	+1	+14	+20	+64	-114	-42	-89	-25	+41	+18
Avdunstning (E)	4	4	4	4	4	4	4	29	86	104	56	19	322
Restterm ($R=P-A-\Delta m-E$)	-5	-2	+2	+6	-8	-6	-4	-16	-46	+7	+6	+6	-60
P-A- Δm													262
lufttemperaturen	-0,1	-8,7	-7,2	-10,9	-9,7	-5,4	-1,2	4,3	13,7	16,9	6,1	0,8	-0,1

Tabell IV

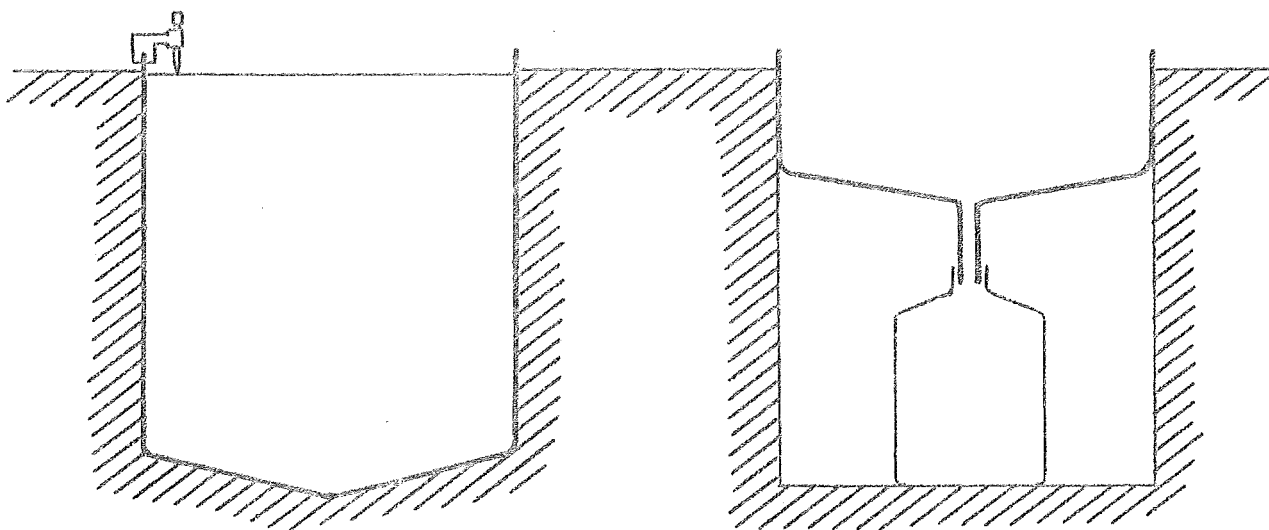
Avdunstningen under olika år i Lappträskområdet (i mm)

År (1/10-30/9)	1968/69	1969/70	1970/71	1971/72
Nederbörd (P)	464	541	466	589
Avrinning (A)	266	295	308	309
Avdunstning bestämd ur P-A-Am	204	189	242	262
Avdunstning bestämd ur Penmans formel, snökuddar m. m.				
Potentiell	—	—	320	322
Verklig	—	—	298	322
Medeltemperatur				
Hela året	-0,1	-0,1	±0,0	-0,1
Juni-aug	+14,1	+14,1	+12,3	+ 12,2

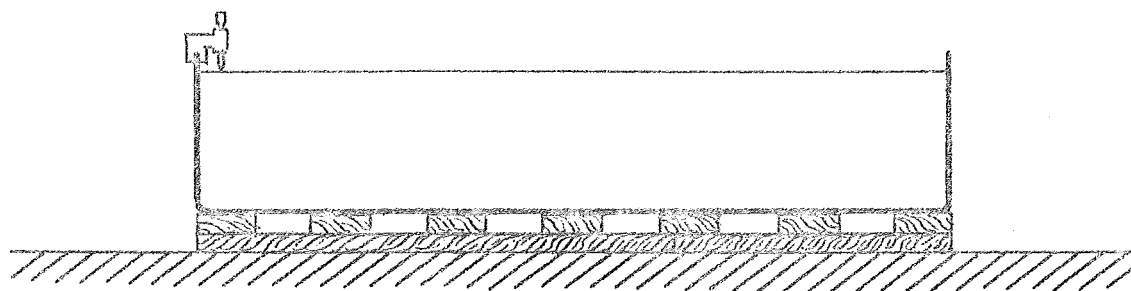
FIG 1



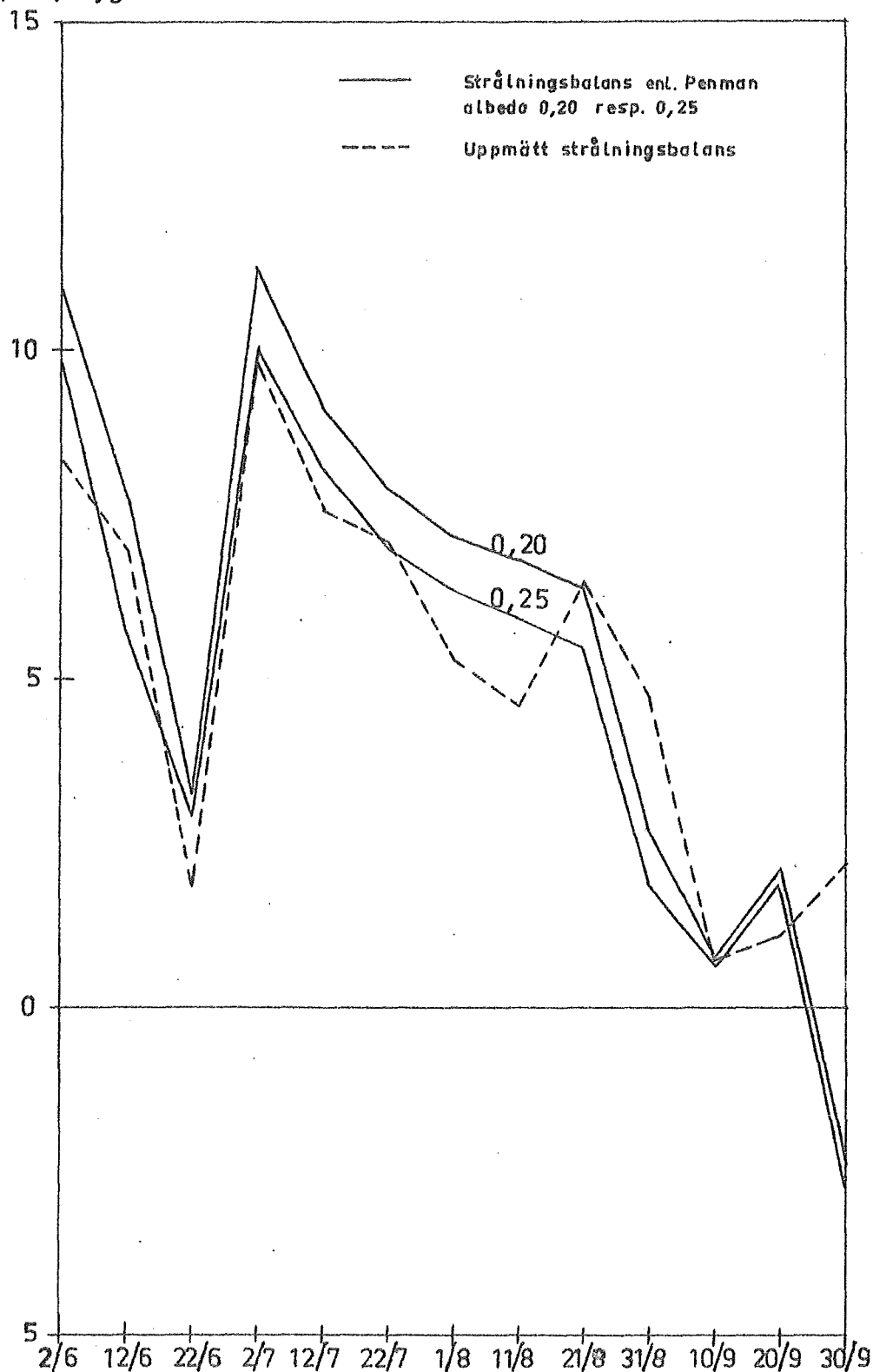
"GGI 3000"



"CLASS A PAN"



STRÅLNINGSBALANS PÅLKEM 1972

MJ / m², dygn

ACKUMULERAD AVDUNSTNING PÅ KEM 1971

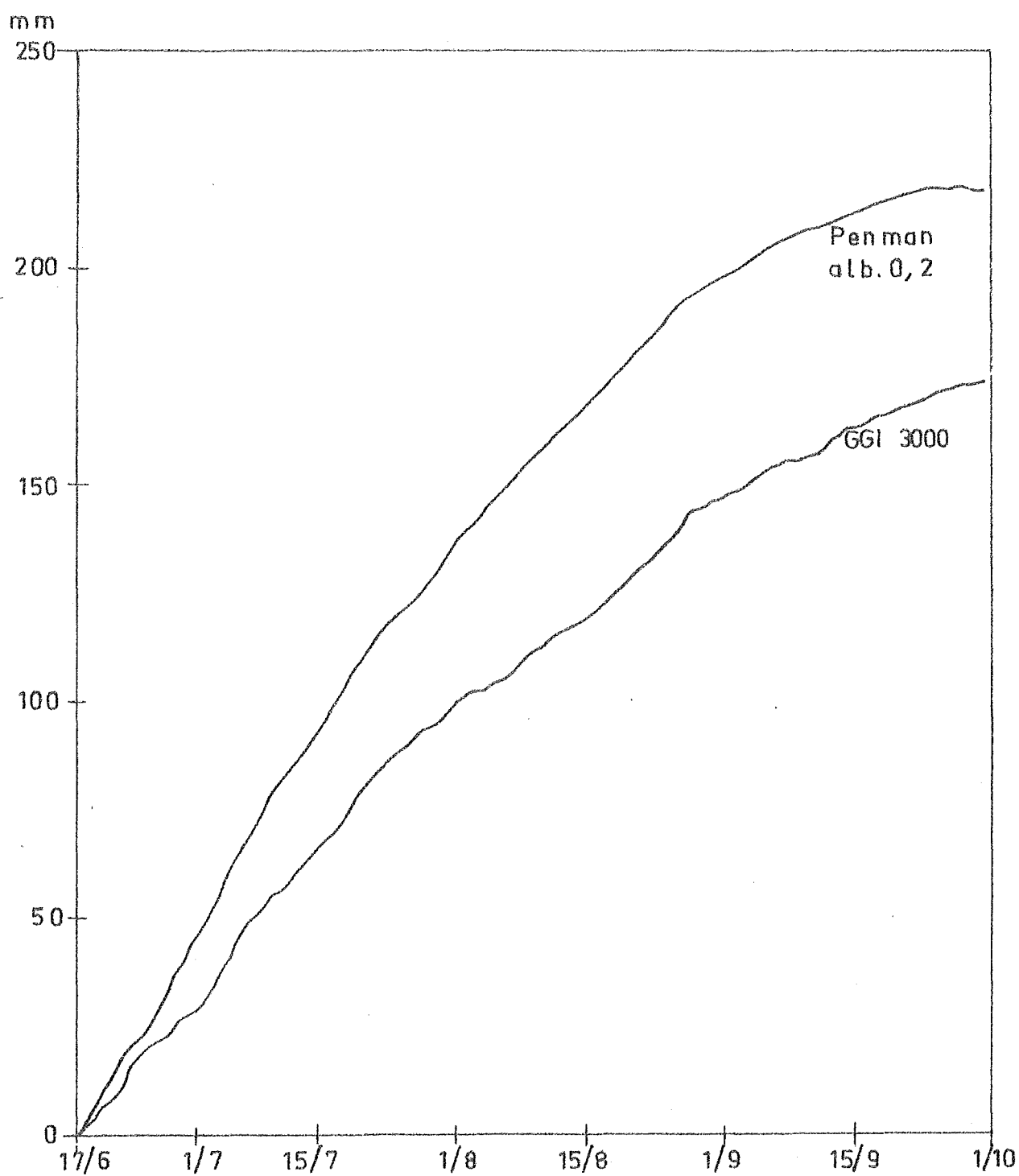
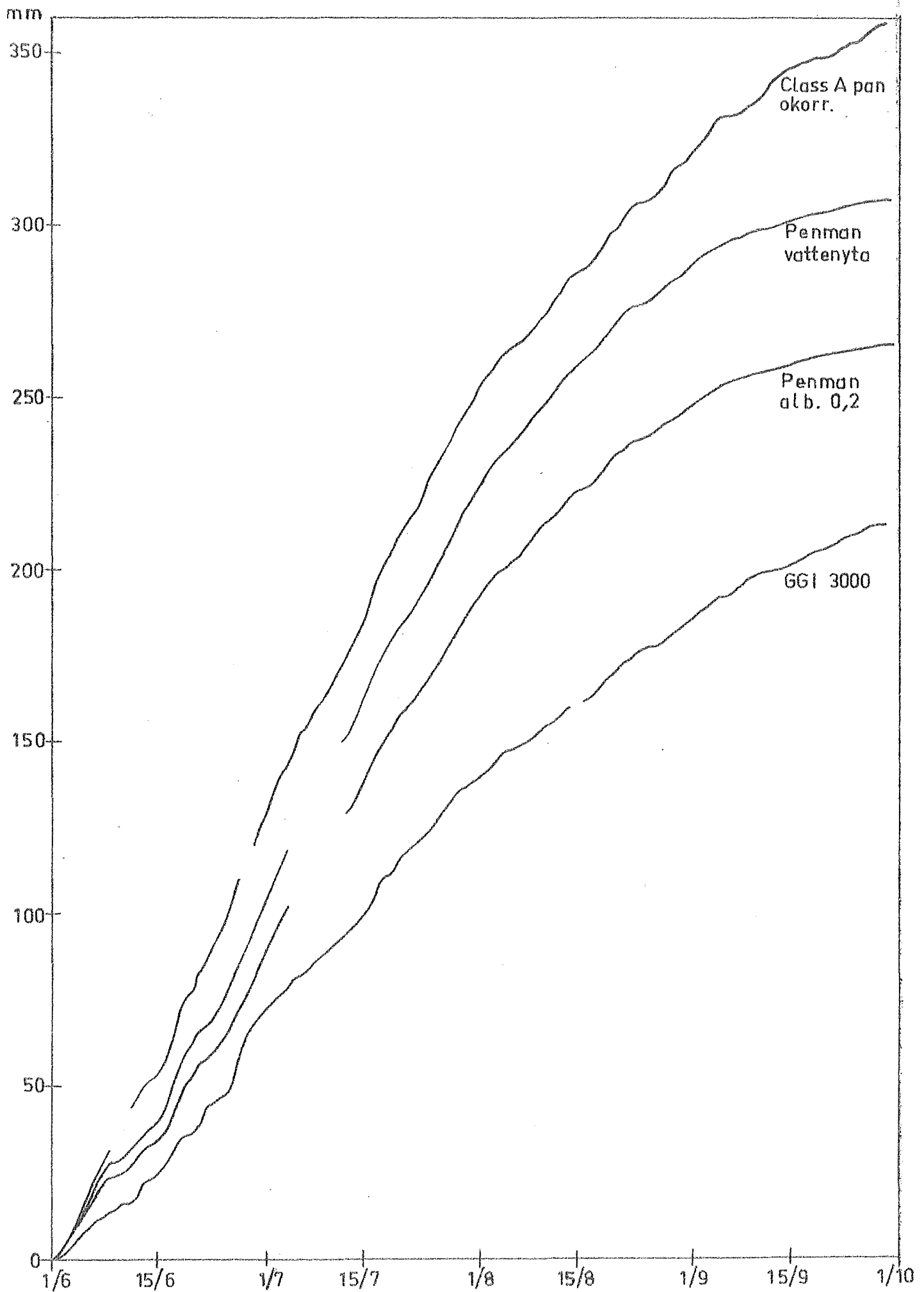


FIG. 5

ACKUMULERAD AVDUNSTNING PÅLKEM 1972



VATTENYTANS ALBEDO I PÅLKEM

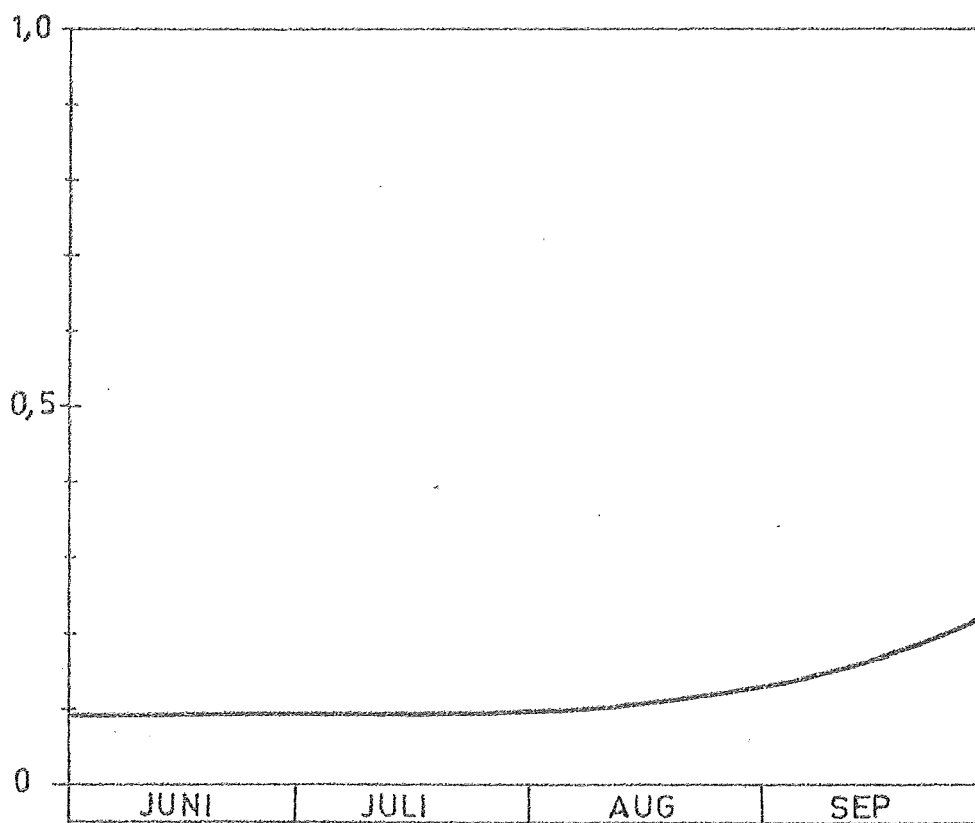
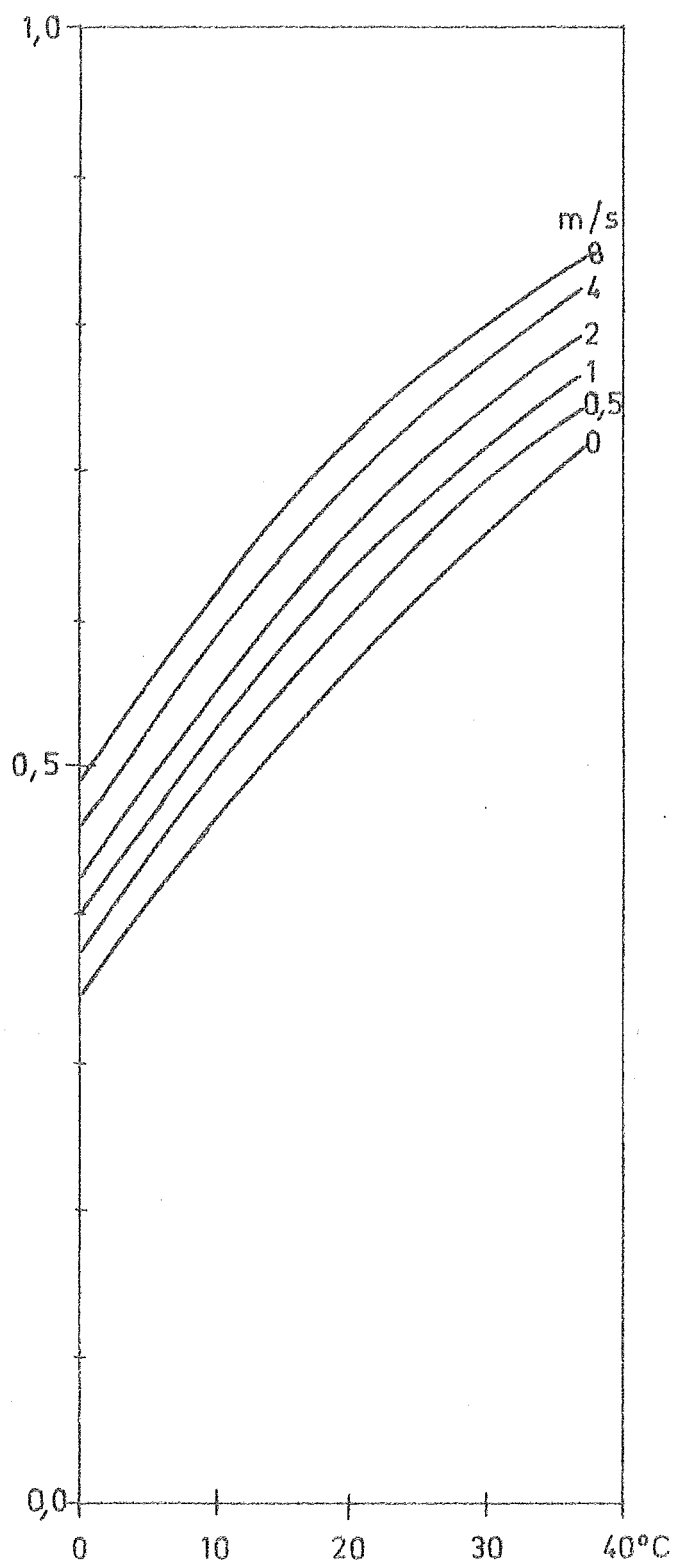
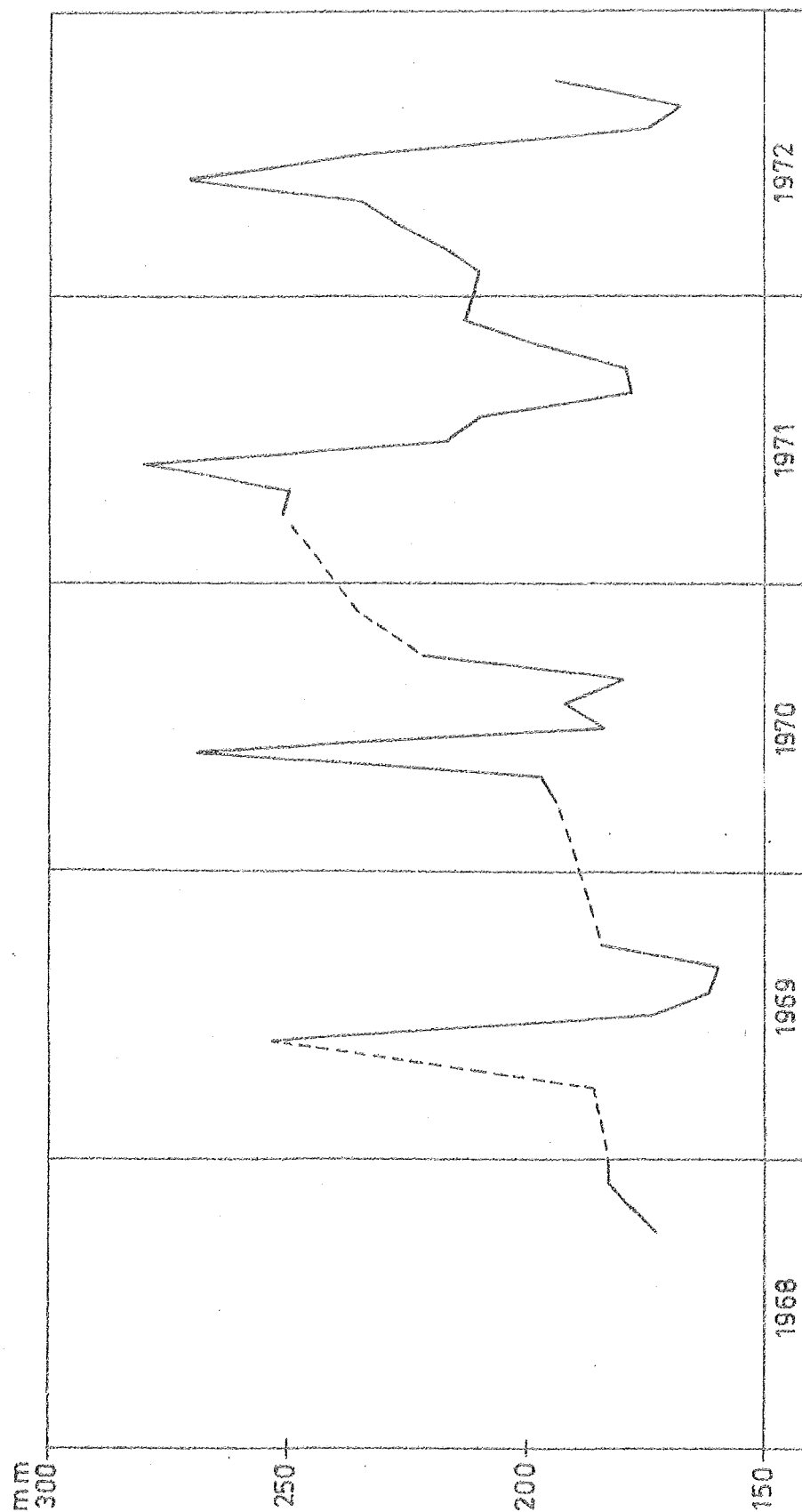


FIG. 7

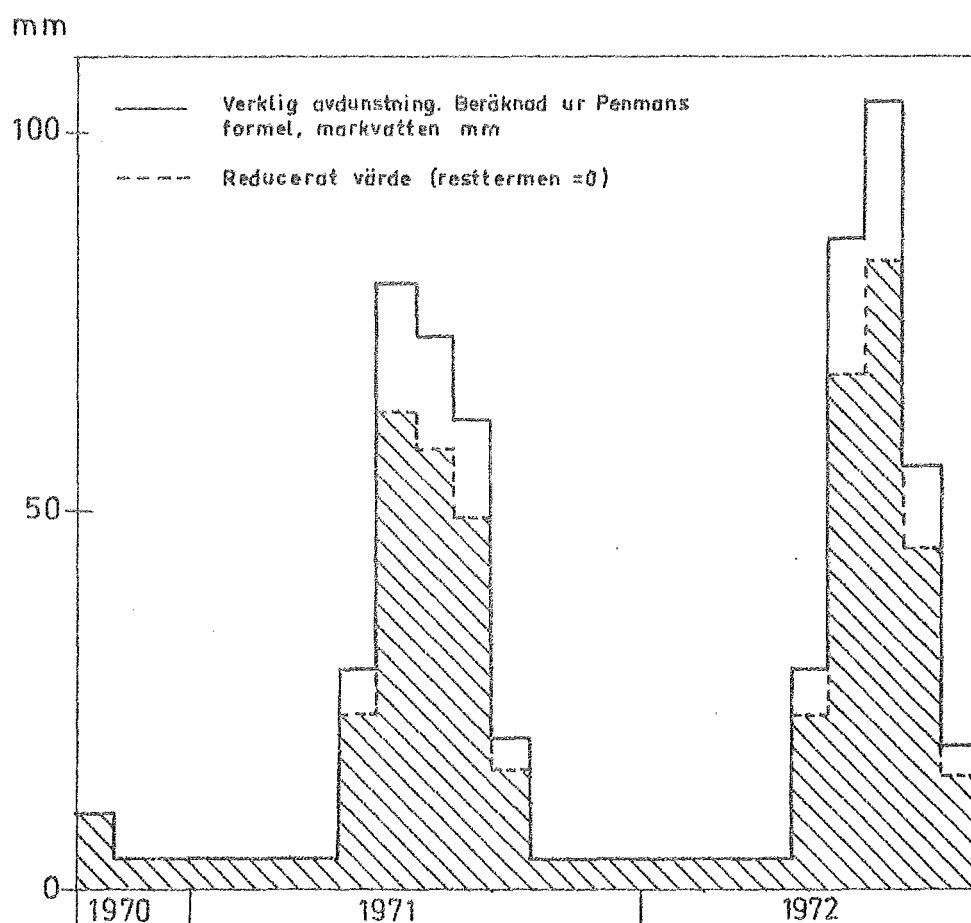
NOMOGRAM FÖR BESTÄMNING AV α_p
I KORREKTIONSEKVATIONEN FÖR
CLASS A PAN



MARKVATTENHALTEN I LAPPTRÄSKOMRÅDET
I SKIKTET 0 - 1 M 1968 - 1972



AVDUNSTNING I LAPPTRÄSKOMRÅDET
1 OKT. 1970 - 1 OKT. 1972



Notiser och preliminära rapporter

Serie HYDROLOGI

- Nr 1 Sundberg-Falkenmark, M.
Om isbärighet. Stockholm 1963
- Nr 2 Forsman, A.
Snösmältning och avrinning. Stockholm 1963
- Nr 3 Karström, U
Infrarödteknik i hydrologisk tillämpning:
Värmebilder som hjälpmedel i recipientundersökningar.
Stockholm 1966
- Nr 4 Moberg, A.
Svenska sjöars isläggings- och islossningstidpunkter 1911/12-
-1960/61. Del 1. Redovisning av observationsmaterial.
Stockholm 1967
- Nr 5 Ehlin, U. & Nyberg, L.
Hydrografiska undersökningar i Nordmalingsfjärden.
Stockholm 1968
- Nr 6 Milanov, T
Avkylningsproblem i recipienter vid utsläpp av kylvatten.
Stockholm 1969
- Nr 7 Ehlin, U & Zachrisson, G
Spridningen i Vänerns nordvästra del av suspenderat
materiel från skredet i Norsälven i april 1969.
Stockholm 1969
- Nr 8 Ehlert, K
Mälarens hydrologi och inverkan på denna av alternativa
vattenavledningar från Mälaren. Stockholm 1970.
- Nr 9 Ehlin, U. & Carlsson, B.
Hydrologiska observationer i Vänern 1959-1968 jämte
sammanfattande synpunkter. Stockholm 1970.
- Nr 10 Ehlin, U. & Carlsson, B.
Hydrologiska observationer i Vänern 17-21 mars 1969.
- Nr 11 Milanov, T
Termisk spridning av kylvattenutsläpp från Karlshamnsverket.
Stockholm 1971
- Nr 12 Persson, M.
Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område.
Rapport I. Stockholm 1971.

- Nr 13 Persson, M.
Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område.
Rapport II: Snömetning med snörör och snökuddar
Stockholm 1971
- Nr 14 Hedin, L.
Hydrologiska undersökningar i Velens representativa område.
Beskrivning av området, utförda mätningar samt preliminära
resultat. Rapport I. Stockholm 1971
- Nr 15 Forsman, A. & Milanov, T.
Hydrologiska undersökningar i Velens representativa område.
Markvattenstudier i Velenområdet. Rapport II. Stockholm 1971
- Nr 16 Hedin, L.
Hydrologiska undersökningar i Kassjöåns representativa område.
Nederbördens höjdberoende samt kortfattad beskrivning av
området. Rapport I. Stockholm 1971
- Nr 17 Bergström, S. & Ehlert, K.
Stochastic Streamflow Synthesis at the Velen representative
Basin. Stockholm 1971
- Nr 18 Bergström, S.
Snösmältningen i Lappträskets representativa område som
funktion av lufttemperaturen. Stockholm 1972
- Nr 19 Holmström, H.
Test of two automatic water quality monitors under field
conditions. Stockholm 1972
- Nr 20 Wennergren, G.
Yttertemperaturkartering med strålningstermometer från
flygplan över Väneren under 1971. Stockholm 1972
- Nr 21 Prych, A.
A warm water effluent analyzed as a buoyant surface jet.
Stockholm 1972
- Nr 22 Bergström, S.
Utveckling och tillämpning av en digital avrinningsmodell.
Stockholm 1972
- Nr 23 Melander, O.
Beskrivning till jordartskarta över Lappträskets representativa
område. Stockholm 1972
- Nr 24 Persson, M.
Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område.
Rapport III: Avdunstning och vattenomsättning. Stockholm 1972.

