

Landbouwhogeschool-Wageningen
CENTRUM VOOR LANDBOUWKUNDIG ONDERZOEK IN SURINAME

EEN ONDERZOEK NAAR DE RELATIE TUSSEN DE INKOMENDE
KORTGOLVIGE STRALING EN DE RELATIEVE ZONNESCHIJN-
DUUR GEDURENDE HET DROGE SEIZOEN IN SURINAME
(onderzoekproject 72/5)

F. Kuipers

Verslag van een onderzoek verricht onder leiding van
Ir. W.H.J. Vochtelo
december 1972

I N H O U D

	Blz.
1. <u>Samenvatting</u>	5
2. <u>Voorwoord</u>	5
3. <u>Inleiding</u>	5
4. <u>Methodiek</u>	5
5. <u>Uitvoering</u>	5
6. <u>Resultaten</u>	6
6.1. Berekening van de lineaire regressie en de correlatiecoëfficiënt voor de maand september . . .	6
6.2. Berekening van de lineaire regressie en de correlatiecoëfficiënt voor de maand oktober . . .	10
7. <u>Discussie</u>	11
8. <u>Literatuur</u>	11

1. SAMENVATTING

De coëfficiënten a en b in de regressieformule van PRESCOTT (1940)

$$H_{sh} = H_{sh}^{top} (a + b \frac{n}{N})$$

werden bepaald voor de maanden september en oktober, het droge seizoen in Suriname.

De volgende waarden werden gevonden:

$$a = 0,33$$

$$b = 0,39$$

2. VOORWOORD

Dit onderzoek werd verricht onder leiding van Ir. W.H.J. Vochteloos, wetenschappelijk medewerker van het CELOS. Het geldt als een onderdeel van mijn praktijktijd in Suriname.

3. INLEIDING

Dit verslag sluit geheel aan bij dat van VAN DER VEEN (1972)^{*} die de coëfficiënten a en b voor het natte seizoen in Suriname bepaald heeft. De methodiek en de uitvoering zijn vrijwel identiek gebleven. Slechts de punten die afwijken worden in dit verslag vermeld onder hoofdstuk 4 en 5, methodiek resp. uitvoering.

4. METHODIEK

De coëfficiënten a en b werden voor de maanden september en oktober apart bepaald om na te gaan of tussen deze twee maanden reeds grote verschillen op zouden treden.

5. UITVOERING

De metingen werden verricht van 1 september t/m 31 oktober 1972 op het CELOS-terrein. Alleen de Kipp-solarimeter werd gebruikt. De Schulze-stralingsmeter is niet bestand tegen het vochtige klimaat van Suriname en zal daarom niet meer gebruikt worden.

^{*} Zie CELOS rapport no. 71

De omrekeningsfactor die nodig is om het aantal cm^2 op het registratiepapier om te rekenen naar het aantal cal./cm^2 werd gewijzigd omdat:

- a) de verzwakking, aangebracht tussen de stralingsmeter en de recorder, gewijzigd werd van 11,35 in 11,56;
- b) de gemiddelde loopsnelheid van het registratiepapier een weinig veranderd was, namelijk van 1 cm in 12,07 minuten voorheen in 1 cm in 12,29 minuten nu. De omrekeningsfactor bedraagt thans 1,81.

6. RESULTATEN

Voor de resultaten van de metingen wordt verwezen naar de tabellen 1 en 2 en fig. 1.

6.1. BEREKENING VAN DE LINEAIRE REGRESSIE EN DE CORRELATIECOËFFICIËNT VOOR DE MAAND SEPTEMBER

Regressielijn: $y = ax + b$ $y: H_{sh}^{\text{top}}/H_{sh}$

$x: n/N$

Sx	=	1668,5	Sy	=	1646,5	n	=	30
Sxx	=	99554,8	Syy	=	92725,1	Sxy	=	94613,2
$SxSx/n$	=	<u>92768,6</u>	$SySy/2$	=	<u>90359,9</u>	$SxSy/n$	=	<u>91567,3</u>
p	=	6786,2	q	=	2365,2	s	=	3043,9

$a = s/p = 0,448$

$b = (Sy - aSx)/n = 30,0$

Significantie van a:

$$\frac{t}{28} = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} = 6,184$$

Significant voor p: $< 0,001$

Tabel 1. Resultaten van de metingen gedaan in de maand september

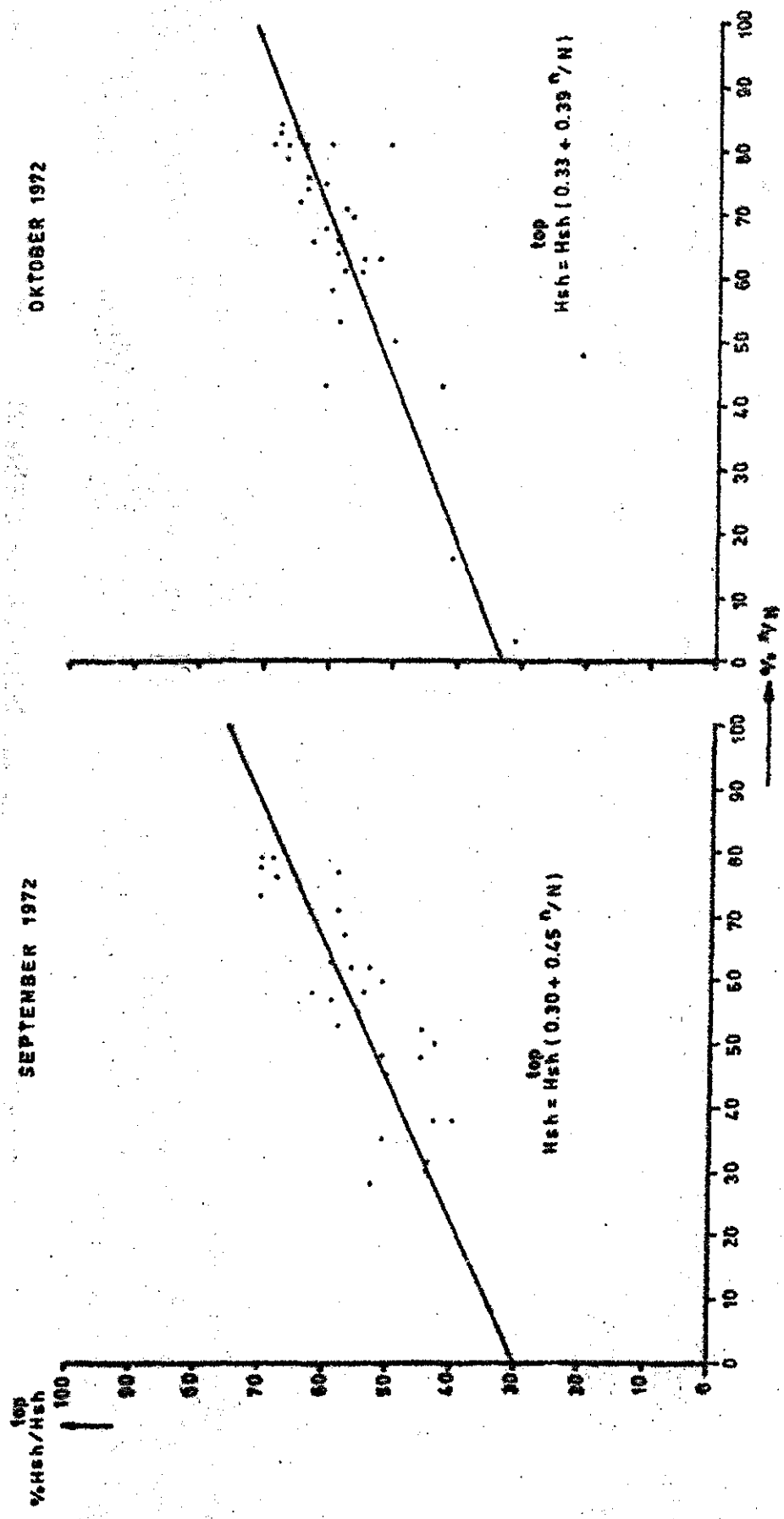
datum	n	N	n/N	H _{sh} cm ²	H _{sh} cal. cm ⁻²	H _{sh} ^{top} cal. cm ⁻²	H _{sh} / H _{sh} ^{top} %	(n/N) ²	(H _{sh} / H _{sh} ^{top}) ²	n/N x H _{sh} / H _{sh} ^{top}
1/9	67	12,19	55,0	268	487	880	55,3	3025,0	3058,1	3041,5
2	58		47,8	246	446		50,7	2284,8	2570,5	2423,5
3	92		75,5	330	600		68,2	5700,3	4651,2	5149,1
4	94		77,1	338	615		69,9	5944,4	4886,6	5389,3
5	77		63,2	283	515		58,5	3994,2	3422,3	3697,2
6	58		47,8	216	393		44,7	2284,8	1998,1	2136,7
7	46		37,7	192	348		39,5	1421,3	1560,3	1489,2
8	61		50,0	208	378		43,0	2500,0	1849,0	2150,0
9	75		61,5	271	493		56,0	3782,2	3136,0	3444,0
10	73		59,9	246	446		50,7	3588,0	2570,5	3036,9
11	36	12,16	29,6	213	386		43,9	876,2	1927,2	1299,4
12	46		37,8	207	375		42,6	1428,8	1814,8	1610,3
13	33		27,1	258	468		53,2	734,4	2830,2	1441,7
14	69		56,7	287	522		59,3	3214,9	3516,5	3362,3
15	75		61,7	256	466		52,9	3806,9	2798,4	3263,9
16	64		52,6	280	510		57,9	2766,8	3352,4	3045,5
17	58		47,7	-	570*		64,8	2275,3	4199,0	3091,0
18	96		78,9	341	619		70,3	6225,2	4942,1	5546,7
19	94		77,3	283	514		58,4	5975,3	3410,6	4514,3
20	70		57,6	262	475		54,0	3317,8	2916,0	3110,4
21	54	12,10	44,6	244	443		50,3	1989,2	2530,1	2243,4
22	96		79,3	328	597		67,8	6288,5	4596,8	5376,5
23	86		71,1	283	514		58,4	5055,2	3410,6	4152,2
24	67		55,4	-	421*		47,8	3069,2	2284,8	2648,1
25	63		52,1	218	396		45,0	2714,4	2025,0	2344,5
26	81		66,9	274	498		56,6	4475,6	3203,6	3786,5
27	88		72,7	340	617		70,1	5285,3	4914,0	5096,3
28	42		34,7	247	449		51,0	1204,1	2601,0	1769,7
29	70		57,8	230	545		61,9	3340,8	3831,6	3577,8
30	38		31,4	212	385		43,8	9859,6	1918,4	1375,3
Gem.	202,7 6,76		1668,5 55,6		14491 483		1646,5 54,88	99554,8	92725,1	6132

De met * gemerkte getallen zijn overgenomen van het Landbouwproefstation te Paramaribo i.v.m. een technische storing van de eigen apparatuur.

Tabel 2. Resultaten van de metingen gedaan in de maand oktober

datum	n	N	n/N %	H _{sh} cm ²	H _{sh} cal. cm ⁻²	H _{sh} ^{top} cal. cm ⁻²	H _{sh} / top H _{sh} %	(n/N) ²	(H _{sh} / top ² H _{sh})	n/N x H _{sh} / H _{sh} ^{top}
1/10	4	12,05	3,32	153	278	875	31,7	10,9	1004,9	104,6
2	73		60,6	281	511		58,4	3672,4	3410,6	3539,0
3	52		43,2	209	380		43,4	1866,2	1883,6	1874,9
4	52		43,2	297	540		61,7	1866,2	3806,9	2665,4
5	98		81,3	308	560		64,0	6609,7	4096,0	5203,2
6	95		78,8	321	583		66,6	6209,4	4435,6	5248,1
7	77		63,9	283	514		58,7	4083,2	3445,7	3750,9
8	73		60,6	264	479		54,7	3672,4	2992,1	3314,8
9	80		66,4	285	518		59,2	4409,0	5504,6	3930,9
10	90		74,7	295	536		61,3	5580,1	3757,7	4579,1
11	76	12,02	63,2	263	478	865	55,3	3994,2	3058,1	3495,0
12	97		80,7	327	593		68,6	6512,5	4706,0	5536,0
13	86		71,5	308	559		64,6	5112,2	4173,2	4618,9
14	85		70,7	274	498		57,6	4998,5	3317,8	4072,3
15	98		81,5	318	579		66,9	6642,2	4475,6	5452,4
16	70		58,2	284	516		59,6	3387,2	3552,2	3468,7
17	91		75,7	305	554		64,0	5730,5	4096,0	4844,8
18	82		68,2	289	526		60,8	4651,2	3696,6	4146,6
19	97		80,7	286	519		59,9	6512,5	3588,0	4833,9
20	89		74,0	302	549		63,5	5476,0	4032,3	4699,0
21	98	11,97	81,9	305	554	855	64,8	6707,6	4199,0	5307,1
22	100		83,5	321	583		68,2	6972,2	4651,2	5694,7
23	99		82,7	321	583		68,2	6839,3	4651,2	5640,1
24	63		52,6	277	504		58,9	2766,7	3469,2	3098,1
25	19		15,8	193	351		41,1	249,6	1689,2	649,4
26	84		70,2	268	488		57,1	4928,0	3260,4	4008,4
27	58		48,5	200	362		42,3	2352,3	1789,3	2051,6
28	79		66,0	297	539		63,0	4356,0	3969,0	4158,0
29	97		81,0	241	438		51,2	6561,0	2621,4	4147,2
30	76		63,5	251	456		53,3	4032,3	2840,9	3384,6
31	60		50,1	238	432		50,5	2510,0	2550,3	2530,1
Gem.	239,8 7,74		1996,2 64,4		15560 502		1799,1 5804	139271,5	106724,6	120047,8

Fig. 1.- Relatie tussen H_{sh}/H_{sh}^{top} en n/N



Correlatiecoëfficiënt:

$$r = a \sqrt{p/q} = 0,76$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{aantal vrijheidsgraden} = n - 2 = 28 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{significant voor} \\ P < 0,01 \end{array}$$

Samenvatting

$$y = 0,448 x + 430,0 \text{ of}$$

$$H_{sh} = H_{sh}^{top} (0,30 + 0,45 \frac{n}{N})$$

met $r = 0,76$ en $n = 30$

6.2. BEREKENING VAN DE LINEAIRE REGRESSIE EN DE CORRELATIECOËFFICIËNT VOOR DE MAAND OKTOBER

Regressielijn: $y = ax + b$ $y = H_{sh}^{top} / H_{sh}$

$$x = \frac{n}{N}$$

Sx	=	1996,2	Sy	=	1799,1	n	=	31
Sxx	=	139271,5	Syy	=	106724,6	Sxy	=	120047,8
SxSx/n	=	<u>128555,3</u>	SySy/n	=	<u>104419,8</u>	SxSy/n	=	<u>115859,4</u>
p		10716,2	q		2304,8	s		4188,4

$$a = s/p = 0,391$$

$$b = (Sy - ASx)/n = 32,85$$

Significant van a:

$$t_{29} = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} = 8,344$$

Significant voor $p < 0.001$

Correlatiecoëfficiënt

$$r = a \sqrt{p/q} = 0,84$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{aantal vrijheidsgraden} = n - 2 = 29 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{significant voor} \\ p < 0.01 \end{array}$$

Samenvatting

$$y = 0,391 x + 32,85 \text{ of}$$

$$H_{sh} = H_{sh}^{top} (0,33 + 0,39 \frac{n}{N})$$

$$\text{met } r = 0,76 \text{ en } n = 31$$

7. DISCUSSIE

De gevonden relatie tussen H_{sh} en $\frac{n}{N}$ voor de maand september is vrijwel identiek aan de relatie gevonden door VAN DER VEEN (1972). Voor de maand oktober zien we dat de coëfficiënt a hoger en de coëfficiënt b lager is dan de reeds gevonden waarden, hetgeen betekent dat bij volledige bewolking een hoger percentage van de kortgolvlige straling door het wolkendek wordt doorgelaten en bij een volledig onbewolkte hemel een hoger percentage wordt geabsorbeerd.

Of hier van een seizoeninvloed sprake is, is niet te zeggen omdat in totaal slechts vier maanden gemeten is. Voordat een gefundeerde uitspraak hieromtrent kan worden gedaan zal meerdere jaren achtereenvolgend gemeten moeten worden.

Het leek weinig zinvol om de maanden september en oktober samen te nemen en op die manier de waarde van a en b voor het droge seizoen te kunnen bepalen. Slechts oktober was enigszins karakteristiek voor de droge tijd en daarom worden deze waarden aangehouden.

8. LITERATUUR

PRESCOTT, J.A., 1940. Evaporation from a watersurface in relation to solar radiation. Transaction of the Royal Society of South Australia, Vol. 64, p. 114-118.

NUGTEREN, J., et al., 1970. Syllabus Ingenieurscollege waterverbruik Landbouwhogeschool, Wageningen, Afd. Weg- en Waterbouwkunde en Irrigatie.

Landbouwhogeschool-Wageningen
CENTRUM VOOR LANDBOUWKUNDIG ONDERZOEK IN SURINAME

EEN VERGELIJKEND ONDERZOEK NAAR DE POTENTIËLE EVA-
POTRANSPIRATIE VAN GRAS BEPAALD MET EEN HYDRAULISCH
WEEGBARE LYSIMETER, DE CLASS A PANVERDAMPING EN DE
VERDAMPING BEREKEND MET DE DOOR PENMAN OPGESTELDE
VERDAMPINGSFORMULE

(onderzoekproject no. 72/38)

F. Kuipers

Verslag van een onderzoek verricht onder leiding
van Ir. W.H.J. Vochtsloo

december 1972

I N H O U D

1. <u>Samenvatting</u>	5
2. <u>Voorwoord</u>	5
3. <u>Inleiding en probleemstelling</u>	5
4. <u>Uitvoering</u>	7
4.1. De bepaling van de potentiële evapotranspiratie van tokogras met behulp van een hydraulisch weegbare lysimeter	7
4.2. Bepaling van de Class A panverdamping	8
4.3. Berekening van de verdamping van een open wateroppervlak volgens Penman	8
5. <u>Resultaten</u>	10
5.1. Vergelijking van de potentiële verdamping van tokogras, gemeten met de lysimeter en de Class-A-panverdamping	10
5.2. Vergelijking van de potentiële verdamping van tokogras, gemeten met de lysimeter met de berekende verdamping volgens Penman	18
5.3. Vergelijking van de Class-A-panverdamping met de berekende verdamping volgens Penman	19
6. <u>Slotopmerkingen</u>	20
7. <u>Literatuur</u>	20

1. SAMENVATTING

In het kader van het verdampingsonderzoek op het CELOS werd gedurende de periode 21-8-1972 t/m 20-12-1972 een vergelijkend onderzoek uitgevoerd naar de potentiële evapotranspiratie van tokogras (E_p), die met behulp van de op het CELOS opgestelde lysimeter gemeten werd, de Class A panverdamping (E_{pan}) en de verdamping van een open wateroppervlak (E_o), die met de door PENMAN opgestelde formule berekend werd.

De volgende relaties werden gevonden:

$$\begin{aligned} E_p &= 0,98 E_{pan} \\ E_p &= 0,79 E_o \\ E_{pan} &= 0,81 E_o \end{aligned}$$

De gewascoëfficiënt van tokogras ten opzichte van E_{pan} is gelijk aan 0,98 en ten opzichte van E_o gelijk aan 0,79. De pancoëfficiënt is gelijk aan 0,81.

2. VOORWOORD

Een gedeelte van mijn praktijktijd heb ik besteed aan dit onderzoek. Mijn begeleider was Ir. W.H.J. Vochteloo, wetenschappelijk medewerker van het CELOS. Iedereen die aan dit onderzoek heeft meegewerkt wil ik hartelijk bedanken voor de prettige samenwerking.

3. INLEIDING EN PROBLEEMSTELLING

In het kader van het agrohydrologisch en irrigatieonderzoek dat op dit ogenblik in Suriname wordt verricht is het noodzakelijk om de verdamping van gewassen (= evapotranspiratie) exact te kunnen vaststellen. Aangezien dit een vrij gecompliceerde zaak is werd besloten een apart onderzoekproject op te zetten ter bestudering van dit probleem.

De evapotranspiratie kan op diverse manieren bepaald worden namelijk:

- a) uit waterbalansstudies van proefvelden, polders of stroomgebieden,
- b) met behulp van lysimeters,
- c) met behulp van een energieindicator.

Ad a. De waterbalansmethode levert in de praktijk grote problemen op. De bovengrondse- en drainafvoer zijn vaak niet nauwkeurig te meten, de toe- of afname van het vochtgehalte van de bodem is moeilijk vast te stellen evenals het percolatieverlies naar de diepe ondergrond. Bovendien brengt het klimaat in Suriname met zich mee dat er 's morgens vroeg vaak een aanzienlijke dauwvorming optreedt. Het gedeelte

van de dauw dat bijdraagt aan de bevochtiging van de bodem is erg moeilijk te meten. Geconcludeerd kan worden dat de met deze methode verkregen resultaten aan nauwkeurigheid zeer te wensen overlaten.

Ad b. Met een lysimeter wordt de methode van de waterbalans op kleine schaal toegepast. Alle termen van de waterbalans, uitgezonderd de verdampingsterm, kunnen hiermee nauwkeurig worden bepaald, zodat dit instrument directe meting van de evapotranspiratie mogelijk maakt. Een lysimeter is een kostbaar instrument. Toepassing op grote schaal in de praktijk is economisch onverantwoord en ook niet noodzakelijk omdat hier meestal volstaan kan worden met minder nauwkeuriger bepalingen. Voor onderzoekdoeleinden is de lysimeter echter een onontbeerlijk instrument.

Ad c. De verdampingsbepaling met behulp van een energie-indicator wordt in de praktijk het meest toegepast omdat:

- slechts weinig en eenvoudige metingen gedaan hoeven te worden,
- de nauwkeurigheid voor irrigatiedoelende voldoende groot is,
- de methode goedkoop is.

Als energieindicator wordt vaak gebruikt:

- een meteorologische groothed, b.v. de gemiddelde luchttemperatuur en de relatieve daglengte (BLANEY en CRIDDLE), de kortgolvlige straling (MAKKINK, JENSEN EN HAISE),
- de verdamping van een open wateroppervlak berekend volgens PENMAN,
- de verdamping gemeten met een verdampingspan.

Bij deze methode wordt slechts een indicatie verkregen van de voor de evapotranspiratie beschikbare energie. Van een directe evapotranspiratiebepaling is dus geen sprake. Omdat de interesse uitgaat naar de bepaling van de potentiële evapotranspiratie van een gewas (de vochtvoorziening van het gewas is dan maximaal en vaak kan er dan een hoge opbrengst verwacht worden) moet er een relatie gezocht worden tussen de potentiële evapotranspiratie van dat gewas en de gebruikte energieindicator. Deze relatie kan weer gegeven worden door de formule:

$$E_p = c_1 c_2 E \text{ waarin:}$$

- E_p = potentiële evapotranspiratie,
- c_1 = gewascoëfficiënt behorende bij een bepaald gewas onder gegeven omstandigheden en geldig voor de gebruikte energieindicator,
- c_2 = reductiecoëfficiënt die afhangt van het groeistadium van het gewas,
- E = energieindicator.

Met behulp van de coëfficiënten c_1 en c_2 is het dus mogelijk om de, met een eenvoudige praktijkmethode bepaalde, energieindicator om te rekenen naar de potentiële evapotranspiratie.

4. UITVOERING

In dit onderzoek werd gemeten aan tokogras. Dit is op en rondom de op het CELOS opgestelde hydraulisch weegbare lysimeter (KIEFT, 1971; MANN, 1972*) geplant.

Als energieïndicatoren werden gebruikt de Class A panverdamping en de verdamping van een open wateroppervlak berekend volgens PENMAN.

4.1. DE BEPALING VAN DE POTENTIËLE EVAPOTRANSPIRATIE VAN TOKOGRAS MET BEHULP VAN EEN HYDRAULISCH WEEGBARE LYSIMETER

In en rondom de lysimeter werd half juli 1972 tokogras geplant. Na ruim een maand had het gras zich tot een gesloten gewas ontwikkeld waarna met de metingen begonnen werd. Eén tot twee keer per week, afhankelijk van de groeisnelheid van het gewas, werd er gemaaid en op deze manier werd het gewas in eenzelfde vegetatieve toestand gehouden. De c_1 -coëfficiënt in de formule $E_p = c_1 c_2 E$ werd daarom geacht constant en gelijk aan 1 te zijn.²

De vochtspanning van de grond in en rondom de lysimeter werd zeer laag gehouden teneinde een maximale watervoorziening te creëren. Dit werd gecontroleerd met een tensiometer die in de bak geplaatst werd. Driemaal daags werd de tensiometer afgelezen (7.00 uur, 13.00 uur en 18.00 uur). Indien de tensiometer meer dan 20 centibars aangaf (dus de negatieve vochtspanning van de bodem in de lysimeterbak bedroeg op dat moment meer dan 200 millibars) werd de lysimeter plus het eromheen liggende terrein beregend op een tijdstip dat de verdamping verondersteld werd gelijk aan nul te zijn, bijvoorbeeld 's morgens voor zeven uur of 's middags na vijf uur. De gemeten actuele verdamping werd aldus verondersteld gelijk te zijn aan de potentiële verdamping.

De lysimeter werd drie keer per dag afgelezen, namelijk om 7.00, 13.00 en 18.00 uur.

Voor de gevonden dagwaarden, decadesommen en decadegemiddelden wordt verwezen naar Tabel 1.

* Zie CELOS rapporten no. 64 en 71.

4.2. BEPALING VAN DE CLASS A PANVERDAMPING

Omstreeks half augustus 1972 is op het meteoveld van het CELOS ten behoeve van dit onderzoek een Class A-pan van het U.S. Weather Bureau geplaatst. De diameter van deze pan bedraagt 4 feet en de hoogte 10 inches. De pan is door de Technische Dienst van het CELOS vervaardigd uit gegalvaniseerd plaatstaal. De lasplaatsen zijn gemenied en vervolgens met aluminiumverf beschilderd om roestvorming te voorkomen. De pan is waterpas geplaatst op een wit geschilderd houten frame. De hoogte van de pan boven het bodemoppervlak bedraagt 20 cm. Over de pan is grof gaas aangebracht.

Eén keer per dag om 7.00 uur werd de pan "afgelezen", d.w.z. het waterniveau in de pan werd op een gefixeerde hoogte (5 cm onder de rand) gebracht. De hoeveelheid water die bijgevuld werd bij neerslagtekort of weggenomen bij neerslagoverschot kon op 250 ml nauwkeurig worden bepaald. Dit kwam overeen met een nauwkeurigheid van 0,2 mm waterschijf. Omrekenen van liters naar millimeters geschiedde door het aantal toegevoegde of weggenomen liters te vermenigvuldigen met de factor 0,885.

Voor de gevonden dagwaarden, decadesommen en decadegemiddelden wordt verwezen naar Tabel 1.

4.3. BEREKENING VAN DE VERDAMPING VAN EEN OPEN WATER- OPPERVLAK VOLGENS PENMAN

Voor de berekening van de verdamping met de PENMAN-formule zijn de volgende metingen verricht:

- temperatuur,
- zonneshijnpercentage,
- windsnelheid,
- inkomende kortgolvlige straling.

4.3.1. Temperatuurmetingen

Gemeten werd:

- de luchttemperatuur op 2 m hoogte,
- de droge en natte boltemperatuur, eveneens op 2 m hoogte, ter bepaling van de actuele dampspanning.

Driemaal daags werden er metingen verricht, namelijk om 8.00, 14.00 en 18.00 uur. Uit deze drie waarnemingen werden de daggemiddelden van de luchttemperatuur en de actuele dampspanning berekend. Deze staan vermeld in Tabel 1.

4.3.2. Zonneshijnpercentage

Het aantal uren zonneshijn werd geregistreerd met een Campbell-Stokes zonneshijnautograaf. Het percentage zonneshijn werd berekend met de in "table 171" van de Smithsonian Meteorological Tables vermelde gegevens over de daglengte.

De verkregen percentages werden slechts gebruikt voor de berekening van de langgolvlige stralingsterm in de PENMAN-formule. Ze staan vermeld in Tabel 1.

4.3.3. Windsnelheidsmetingen

Omdat het CELOS niet over een windsnelheidsmeter beschikt waarmee permanent waarnemingen kunnen worden verricht, werden de benodigde cijfers over de windsnelheid op 2 meter hoogte overgenomen van de Meteorologische Dienst te Paramaribo. Deze staan vermeld in Tabel 1.

4.3.4. Inkomende kortgolvlige straling

De inkomende kortgolvlige straling werd gemeten met een Kipp-solarimeter die gekoppeld was aan een Honeywell-Brown-recorder. Door de dagregistraties te planimetreren en de gevonden oppervlakten in cm^2 met een omrekeningsfaktor te vermenigvuldigen, werden de dagwaarden in cal. cm^{-2} verkregen. De resultaten werden gebruikt voor de berekening van de kortgolvlige stralingsterm in de PENMAN-formule. Ze staan eveneens in Tabel 1 vermeld.

Met behulp van de bovengenoemde metingen werd de verdamping volgens PENMAN berekend.

De PENMAN-formule luidt:

$$E_0 = \frac{\frac{\Delta}{0,1L} \left\{ 0,94 \cdot H_{sh} \cdot H_{sh}^{top} - 118 \cdot 10^{-9} \cdot (273 + T_2)^4 \cdot (0,10 + 0,90 \frac{n}{N}) \cdot (0,56 - 0,092 \sqrt{e_2}) \right\}}{\Delta + 0,485}$$

$$+ \frac{0,485 \times 0,35 (0,5 + 0,54 u_2) - (e^s - e_2)}{\Delta + 0,485}$$

waarin:

- E_0 = decadegemiddelde van de verdamping van een open wateroppervlak in mm dag^{-1}
 H_{sh} = decadegemiddelde van de inkomende kortgolvlige straling in cal. cm^{-2}
 H_{sh}^{top} = angotwaarde

T_2 = decadegemiddelde van de luchttemperatuur op 2 m hoogte
 n/N = decadegemiddelde van de relatieve zonneshijnduur
 e_2 = decadegemiddelde van de actuele dampspanning op 2 m hoogte
 u_2 = decadegemiddelde van de windsnelheid op 2 m hoogte
 e_s = verzadigde dampspanning bij temperatuur T_2
= helling van de temperatuur/verzadigde dampspanningscurve
 L = verdampingswarmte van water bij temperatuur T_2

Voor de berekening werd gebruik gemaakt van tabellen (LENSELINK, 1970, KIJNE and BAARS, 1971).
De resultaten staan vermeld in Tabel 1.

5. RESULTATEN

Voor de resultaten van de metingen en de verwerking daarvan wordt verwezen naar Tabel 1.

ad Tabel 1.

De waarden van H_{sh} van 7-11-'72 t/m 30-11-'72 werden wegens defect zijn van H_{sh} de eigen apparatuur overgenomen van het Landbouwproefstation te Paramaribo.

De tweede decade van november is komen te vervallen wegens verstopping van de toevoerleiding van het runoffvat van de lysimeter waardoor geen betrouwbare waarnemingen konden worden verkregen. Bovendien stroomde de verdampingspan in deze periode eenmaal over.

Ook later, op 26-11, 29-11, 14-12 en 16-12-'72 bleek dat bovengenoemde toevoerleiding het water niet snel genoeg kan afvoeren, hetgeen overstroming van de runoff-goot tengevolge had. De waarnemingen van die dag kwamen dien tengevolge te vervallen.

5.1. VERGELIJKING VAN DE POTENTIËLE VERDAMPING VAN TOKOGRAS, GEMETEN MET DE LYSIMETER EN DE CLASS-A-PANVERDAMPING

In Tabel 2 staan vermeld de decadesommen van de potentiële verdamping, de decadesommen van de panverdamping en de gewascoëfficiënt C_1^{pan} , waarbij

$$C_1^{pan} = \frac{\text{decadesom van de potentiële verdamping}}{\text{decadesom van de panverdamping}}$$

De waarden zijn eveneens grafisch uitgezet in grafiek I.

Tabel 1. Resultaten van de uitgevoerde metingen

DATUM	E_p	E_{pan}	n	n/N	H_{sh}	T_2	e_2	u_2	E_o
21-8-'72	7,1	7,3	10,0	0,82	631	28,8	19,1	2,8	
22	4,8	5,6	8,3	0,68	513	27,9	21,0	2,0	
23	3,8	2,7	1,6	0,13	328	24,7	20,5	2,1	
24	5,5	4,6	7,8	0,64	411	26,9	19,7	1,7	
25	5,3	6,2	8,2	0,67	483	26,7	21,8	2,5	
26	5,0	5,1	9,1	0,75	543	27,7	20,0	2,6	
27	4,9	5,1	8,1	0,66	542	27,7	21,9	2,0	
28	2,7	4,0	4,5	0,37	427	28,3	21,7	2,4	
29	4,0	3,7	5,9	0,48	465	27,4	22,3	1,8	
30	5,0	4,8	6,5	0,53	538	28,8	20,9	1,9	
31	5,5	5,5	6,9	0,56	559	27,1	21,7	2,7	
Som	53,6	54,6	76,9	6,29	5440	302,0	230,6	24,5	65,1
GEM.	4,9	5,0	7,0	0,57	495	27,4	21,0	2,2	5,9
1-9-'72	3,8	3,4	6,7	0,55	487	27,9	21,5	2,2	
2	2,6	4,2	5,8	0,48	446	26,9	23,1	2,1	
3	4,8	5,6	9,2	0,76	600	27,9	18,5	2,7	
4	5,8	5,1	9,4	0,77	615	27,4	19,5	2,7	
5	5,4	4,6	7,7	0,63	515	27,2	20,8	1,8	
6	4,3	3,4	5,8	0,48	393	26,5	22,2	2,1	
7	2,0	3,3	4,6	0,38	348	25,4	21,5	2,0	
8	2,9	4,0	6,1	0,50	378	26,4	21,8	2,1	
9	4,8	4,6	7,5	0,62	493	26,9	22,0	1,9	
10	3,6	4,1	7,3	0,60	446	27,9	21,9	2,2	
Som	40,0	42,3	70,1	5,76	4721	270,4	212,8	21,8	54,9
GEM.	4,0	4,2	7,0	0,58	472	27,0	21,3	2,2	5,5

Vervolg tabel 1.

DATUM	E_p	E_{pan}	n	n/N	H_{sh}	T_2	c_2	u_2	E_o
11	3,0	3,8	3,6	0,30	387	25,3	20,7	2,6	
12	4,0	3,2	4,6	0,38	375	27,1	21,2	2,1	
13	7,5	4,2	3,3	0,27	468	27,6	22,7	1,5	
14	3,4	5,2	6,9	0,57	522	27,6	21,4	2,7	
15	1,2	4,2	7,5	0,62	466	28,2	21,2	2,5	
16	5,4	4,5	6,4	0,53	510	28,0	21,9	2,5	
17	6,0	6,0	5,8	0,48	570*	28,5	21,7	2,7	
18	6,6	6,6	9,6	0,79	619	28,7	19,4	2,4	
19	6,3	5,3	9,4	0,77	514	28,7	19,9	2,7	
20	3,5	5,8	7,0	0,58	475	28,4	20,3	1,5	
Som	46,9	48,8	64,1	5,27	4906	278,1	210,4	23,2	60,3
GEM.	4,7	4,9	6,4	0,53	491	27,8	21,0	2,3	6,0

* Deze waarde werd overgenomen van het Landbouwproefstation Paramaribo.

21-9-'72	3,4	4,4	5,4	0,45	443	27,8	21,8	1,7	
22	6,0	5,5	9,6	0,79	597	28,4	20,8	3,0	
23	5,0	6,4	8,6	0,71	514	28,3	20,4	2,2	
24	3,5	5,2	6,7	0,55	421*	26,9	20,8	2,4	
25	3,1	3,8	6,3	0,52	396	27,8	21,5	1,9	
26	3,6	5,2	8,1	0,67	498	27,8	22,0	1,5	
27	6,3	6,0	8,8	0,73	617	27,8	19,9	2,1	
28	5,0	3,8	4,2	0,35	449	27,1	21,1	2,2	
29	5,7	4,2	7,0	0,58	545	27,8	21,5	2,7	
30	3,5	3,8	3,8	0,31	385	26,7	21,3	1,7	
Som	45,1	48,3	68,5	5,66	4865	276,4	211,1	21,4	58,3
GEM.	4,5	4,8	6,9	0,57	487	27,6	21,1	2,1	5,8

* Deze waarde werd overgenomen van het Landbouwproefstation te Paramaribo.

Vervolg tabel 1.

DATUM	E_p	E_{pan}	n	n/N	H_{sh}	T_2	ϵ_2	u_2	E_0
1-10-'72	2,4	2,7	0,4	0,03	279	25,8	21,7	1,3	
2	5,9	4,6	7,3	0,61	511	27,4	20,8	2,7	
3	4,1	5,0	5,2	0,43	380	25,6	21,8	0,8	
4	5,9	5,5	5,2	0,43	540	28,4	20,8	2,2	
5	6,0	6,0	9,8	0,81	560	28,8	20,0	2,8	
6	6,3	5,5	9,5	0,79	583	27,9	21,1	2,3	
7	5,5	4,9	7,7	0,64	514	28,9	20,9	2,9	
8	4,9	5,1	7,3	0,61	479	28,1	21,6	1,9	
9	5,5	5,1	8,0	0,67	518	29,2	21,3	2,2	
10	6,7	5,8	9,0	0,75	536	29,1	20,7	3,0	
Som	53,2	50,2	69,4	5,76	4900	279,2	210,7	22,1	59,1
GEM.	5,3	5,0	6,9	0,58	490	27,9	21,1	2,2	6,0
11	5,6	5,4	7,6	0,63	478	29,0	20,7	3,2	
12	6,1	6,4	9,7	0,81	594	28,7	20,8	2,2	
13	4,1	6,0	8,6	0,72	559	28,3	22,1	2,5	
14	5,9	4,8	8,5	0,71	498	28,9	20,4	2,7	
15	5,1	5,3	9,8	0,82	579	27,9	21,4	1,9	
16	5,6	5,1	7,0	0,58	516	28,3	20,8	2,5	
17	6,0	6,0	9,1	0,76	554	28,6	21,2	2,2	
18	4,4	5,1	8,2	0,68	526	27,9	22,3	1,9	
19	4,3	6,0	9,7	0,81	519	28,5	21,0	2,7	
20	4,1	6,0	8,9	0,74	549	29,1	19,7	2,9	
Som	51,2	56,1	87,1	7,24	5372	285,2	210,4	24,7	65,6
GEM.	5,1	5,6	8,7	0,72	537	28,5	21,0	2,5	6,6

Vervolg tabel 1.

DATUM	E_p	E_{pan}	n	n/N	H_{sh}	T_2	c_2	u_2	E_o
21-10-'72	5,0	6,4	9,8	0,82	555	29,0	19,9	2,7	
22	5,5	6,0	10,0	0,84	583	29,4	20,2	3,2	
23	6,0	6,4	9,9	0,83	583	29,0	18,3	3,2	
24	4,7	5,3	6,3	0,53	504	27,2	19,6	2,7	
25	2,2	2,7	1,9	0,16	351	26,6	21,1	1,5	
26	4,4	4,8	8,4	0,70	488	28,1	21,4	2,1	
27	2,1	2,5	5,8	0,49	362	27,5	22,4	1,8	
28	5,2	5,0	7,9	0,66	540	27,5	22,1	1,8	
29	4,7	4,9	9,7	0,81	438	27,7	21,9	2,0	
30	3,8	4,7	7,6	0,64	456	27,1	21,1	2,4	
31	4,8	4,5	6,0	0,50	432	26,9	21,5	2,6	
Som	48,4	53,2	83,3	6,98	5292	306,0	229,5	26,0	65,2
GEM.	4,4	4,8	7,6	0,63	481	27,8	20,9	2,4	5,9
1-11-'72	4,1	4,1	5,3	0,44	432	26,6	20,9	2,3	
2	5,0	5,5	5,5	0,46	494	28,9	20,9	3,1	
3	4,6	4,9	5,5	0,46	451	28,3	21,1	3,2	
4	4,5	3,4	5,1	0,43	365	27,7	21,9	3,2	
5	3,8	3,6	5,7	0,48	409	27,4	22,6	2,5	
6	3,2	3,3	3,6	0,30	309	26,1	21,8	2,5	
7	4,6	3,9	4,1	0,34	404	27,3	22,0	2,2	
8	4,6	4,5	6,4	0,54	424	27,8	22,5	3,6	
9	3,4	4,0	4,7	0,39	366	26,7	21,0	3,2	
10	1,0	2,5	0,7	0,06	220	27,9	22,8	3,0	
Som	38,8	39,7	46,6	3,90	3874	274,7	217,5	28,8	49,8
GEM.	3,9	4,0	4,7	0,39	387	27,5	21,8	2,9	5,0

Vervolg tabel 1.

DATUM	E_p	E_{pan}	n	n/N	H_{sh}	T_2	c_2	u_2	E_o
21-11-'72	6,1	4,0	6,6	0,56	410	27,0	21,4	3,3	
22	3,2	2,1	2,3	0,19	349	27,0	22,2	2,0	
23	5,2	5,1	8,5	0,72	515	28,3	20,6	2,7	
24	3,2	4,1	4,7	0,40	371	27,3	22,6	2,7	
25	4,4	5,7	6,8	0,57	441	26,5	22,4	3,1	
26	-	2,0*	4,1*	0,35*	380*	25,3*	22,7	1,7*	
27	1,2	1,8	1,7	0,14	281	25,0	21,3	1,5	
28	3,9	3,4	5,5	0,46	444	26,4	21,6	1,4	
29	-	4,3*	5,4*	0,45*	374*	26,6*	22,0*	3,4*	
30	4,6	4,0	4,4	0,37	349	27,1	21,8	2,9	
Som	31,8	36,5	50,0	4,21	3914	266,5	218,6	24,7	46,9
GEM.	4,0	3,7	5,0	0,42	391	26,7	21,9	2,5	4,7
1-12-'72	3,9	3,1	3,9	0,33	302	26,8	21,3	2,4	
2	4,2	3,2	6,1	0,51	387	27,4	21,9	1,9	
3	3,6	2,9	5,5	0,46	371	27,2	21,9	2,4	
4	2,8	3,5	2,9	0,24	270	26,3	21,3	2,8	
5	1,7	3,7	7,0	0,59	563	27,8	21,8	2,8	
6	3,9	3,2	4,5	0,38	400	26,9	21,6	2,1	
7	0,3	2,3	2,0	0,17	206	25,1	21,4	1,9	
8	3,1	2,7	2,8	0,24	271	26,2	21,3	1,8	
9	1,5	2,3	1,9	0,16	201	24,9	21,5	2,4	
10	3,3	1,0	1,2	0,10	224	24,1	21,2	2,1	
Som	28,3	27,9	37,8	3,18	3295	262,7	215,2	22,6	40,2
GEM.	2,8	2,8	3,8	0,32	330	26,3	21,5	2,3	4,0

* Deze waarden worden in de vergelijking met E_p niet meegerekend.

Vervolg tabel 1.

DATUM	E_p	E_{pan}	n	n/N	H_{sh}	T_2	e_2	u_2	E_o
11	5,5	5,4	7,0	0,59	407	27,6	21,6	3,3	
12	0,8	1,7	2,3	0,19	282	25,5	22,2	2,2	
13	3,4	3,3	0,5	0,04	214	24,7	20,7	2,8	
14	-	0,1	0,1 [*]	0,01	192 [*]	24,9 [*]	21,6 [*]	2,1 [*]	
15	2,1	0,7	0,9	0,08	244	25,4	21,5	2,7	
16	-	4,0 [*]	1,0 [*]	0,08 [*]	199 [*]	25,7 [*]	21,9 [*]	2,9 [*]	
17	3,1	3,6	2,4	0,20	286	27,1	22,2	4,0	
18	3,4	3,9	1,8	0,15	288	27,6	21,6	4,1	
19	4,2	4,2	1,8	0,15	335	26,7	19,9	3,3	
20	4,9	3,8	3,1	0,26	386	25,7	10,0	2,1	
Som	27,4	30,7	20,9	1,75	2833	260,9	212,2	26,6	37,1
GEM.	3,4	3,1	2,1	0,18	283	26,1	21,2	2,7	3,7

* Deze waarden zorden in de vergelijking met E_p niet meegerekend.

Tabcl 2. Decadesommen van E_p , decadesommen van E_{pan} en de gewascoëfficiënt C_1^{pan}

maand	decade	decadesom E_p	decadesom E_{pan}	C_1^{pan}
aug.	III	53,6	54,6	0,98
sept.	I	40,0	42,3	0,95
	II	46,9	48,8	0,96
	III	45,1	48,3	0,93
okt.	I	53,2	50,2	1,06
	II	51,2	56,1	0,91
	III	48,4	53,2	0,91
nov.	I	38,8	39,7	0,98
	III	31,8*	30,2	1,05
dec.	I	28,3	27,9	1,01
	II	27,4*	26,6	1,03
Som	11	464,7	477,9	10,77
GEM.		42,2	43,4	0,98

* Deze decadecijfers zijn samengesteld uit 8 dagwaarden.

De waarde van C_1^{pan} varieert van 0,91 tot 1,06.

De mogelijke variatie van C_1^{pan} ten gevolge van de bereikbare meetnauwkeurigheid ligt in dezelfde orde van grootte als de gevonden variatie. Eventuele betrouwbare conclusies omtrent deze variatie kunnen dus niet getrokken worden.

5.2. VERGELIJKING VAN DE POTENTIËLE VERDAMPING VAN TOKOGRAS, GEMETEN MET DE LYSIMETER, MET DE BEREKENDE VERDAMPING VOLGENS PENMAN

In Tabel 3 staan vermeld de decadesommen van de potentiële verdamping, de decadesommen van de Penmanverdamping en de gewascoëfficiënt C_1^o waarbij

$$C_1^o = \frac{\text{decadesom van de potentiële verdamping}}{\text{decadesom van de Penmanverdamping}}$$

De waarden zijn eveneens uitgezet in grafiek I.

Tabel 3. Decadesommen van E_p decadesommen van E_o en de gewascoëfficiënt

maand	decade	decadesom E_p	decadesom E_o	C_1^o
aug.	III	53,6	65,1	0,82
sept.	I	40,0	54,9	0,73
	II	46,9	60,3	0,78
	III	45,1	58,3	0,77
okt.	I	53,2	59,7	0,89
	II	51,2	65,6	0,78
	III	48,4	65,2	0,74
nov.	I	38,8	49,8	0,78
	III	31,8*	38,2*	0,83
dec.	I	28,3	40,2	0,70
	II	27,4*	32,8*	0,83
Som	11	464,7	590,0	8,65
GEM.		42,2	53,6	0,79

* Deze decadecijfers zijn samengesteld uit 8 dagwaarnemingen.

De waarde van C_1^0 varieert van 0,70 tot 0,89. Deze variatie valt eveneens C_1 binnen de bereikbare meetnauwkeurigheid.

Decade december I springt er uit. De oorzaak hiervan is onbekend.

5.3. VERGELIJKING VAN DE CLASS-A-PANVERDAMPING MET DE BEREKENDE VERDAMPING VOLGENS PENMAN

In Tabel 4 staan vermeld de decadesommen van de panverdamping de decadesommen van de PENMAN-verdamping en de pancoëfficiënt C_{pan} , waarbij

$$C_{pan} = \frac{\text{decadesom van de panverdamping}}{\text{decadesom van de PENMAN-verdamping}}$$

De waarden zijn eveneens uitgezet in grafiek I.

Tabel 4. Decadesommen van E_{pan} decadesommen van E_0 en de pancoëfficiënt C_{pan}

maand	decade	decadesom E_{pan}	decadesom E_0	C_{pan}
aug.	III	54,6	65,1	0,84
sept.	I	42,3	54,9	0,77
	II	48,8	60,3	0,81
	III	48,3	58,3	0,83
okt.	I	50,2	59,7	0,84
	II	56,1	65,6	0,85
	III	53,2	65,2	0,82
nov.	I	39,7	49,8	0,80
	III	36,5	46,9	0,78
dec.	I	27,9	40,2	0,70
	II	30,7	37,1	0,83
Som	11	448,3	603,1	8,87
GEM.		44,4	54,8	0,81

De waarde van C_{pan} varieert van 0,70 tot 0,85, waarbij decade december I C_{pan} weer op onverklaarbare wijze uitspringt. Deze decade buiten beschouwing gelaten kan gesteld worden dat de waarden vrij dicht bij elkaar liggen.

In de literatuur wordt vaak voor de pancoëfficiënt een waarde van $\pm 0,7$ opgegeven. De reden waarom we hier een coëfficiënt van $\pm 0,8$ vinden moet zijn dat de plaatselijke omstandigheden waaronder gemeten is, enigszins afwijkend zijn.

6. SLOTOPMERKINGEN

Gedurende de vier maanden dat dit onderzoek geduurd heeft zijn een aantal punten naar voren gekomen die voor verbetering in aanmerking komen indien dit onderzoek, uiteraard met een ander gewas, voortgezet wordt.

Allereerst de lysimeter. Het is gebleken dat het drainagevat erg klein gedimensioneerd is. Continu controle is vereist, wil men voorkomen dat het vat overstroomt. Verder moet er naar een betere oplossing gezocht worden voor de afvoer van het run-off water. Regelmatig raakt deze afvoering verstopt. Onderhoud en reiniging is een zeer lastige zaak, omdat de leiding moeilijk bereikbaar is.

Voor de bepaling van de verdamping volgens PENMAN is het absoluut noodzakelijk dat er windsnelheidsmeter op het CELOS-terrein geplaatst wordt. Het is eveneens aan te bevelen een methode te zoeken, waarmee de langgolvlige straling gemeten kan worden. Deze term wordt nog empirisch bepaald via een aantal aangenomen constanten, hetgeen de nauwkeurigheid niet ten goede komt.

Wat betreft de Class-A-verdampingspan moet men zich afvragen of de nauwkeurigheid in de natte tijd niet te wensen overlaat. Bij grote neerslag fungeert de pan wegens een hoog uitspattingspercentage als een slechte regenvoeler, waardoor de verdamping niet exact bepaald kan worden. Bovendien hebben metingen uitgewezen dat tijdens een regenbui een sterke, niet in overeenstemming met de beschikbare energie zijnde, verdamping van het water in de pan kan optreden (BULTOT et DUPRIEZ, 1968). Door de regen wordt het wateroppervlak in de pan afgekoeld, waardoor de in de pan aanwezige warmte naar boven getransporteerd wordt. Hierdoor blijft een dampspanningsgradiënt aan het wateroppervlak bestaan.

7. LITERATUUR

VEN TE CHOW, PH. D., Editor-in-chief, 1964. Handbook of applied Hydrology, Mc Graw Hill. New York (N-Y).

- NUGTEREN, J. "et al", 1970. Syllabus Ingenieurscollege waterverbruik. Landbouwhogeschool. Afdeling Weg- en waterbouwkunde en Irrigatie, 1970.
- PENMAN, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society, London A 193, p. 120 - 145.
- PRESCOTT, 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. Transactions of the Royal Society of South Australia. Vol. 64, p. 114 - 118.
- KYNE, G.W. and C. BAARS, 1971. Methods of calculating potential evaporation, Landbouwhogeschool. Afdeling Weg- en Waterbouwkunde en Irrigatie, 1971.
- SMITHSONIAN METEOROLOGICAL TABLES, Washington, 1968.
- BULTOT, F. et G.L. DUPRIEZ, 1968. Le bar évaporatoire en usage dans le réseau hydrométéorologique Belge, Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology XIII, 2, p. 163 - 168.

