

OCENA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA UPROSZCZONEJ METODY PENMANA
DO OSZACOWANIA EWAPOTRANSPIRACJI DLA CELÓW PROGNOZOWANIA NAWODNIEŃ

Andrzej Kędziora, Roman Schefke, Marek Spychalski, Jan Posłuszny

Instytut Melioracji Rolnych i Leśnych AR Poznań

Wśród metod sterowania nawodnieniami czołowe miejsce zajmują metody oparte na szacowaniu zużycia wody glebowej przy zastosowaniu maszyn cyfrowych [3]. Jedną z tych metod jest metoda wykorzystująca dane klimatyczne, uzupełnione danymi glebowymi i roślinnymi. Metoda ta, opracowana przez Jensena, polega na określeniu zużycia wody glebowej w danym okresie czasu, począwszy od chwili rozpoczęcia cyklu sterowania. Istota tej metody przedstawiona jest poniższym równaniem:

$$D = \sum_{i=1}^{i=n} (E_t - R_e - I \pm W_d)_i$$

gdzie

D - zużycie wody glebowej w mm,

E_t - ewapotranspiracja rzeczywista w mm,

R_e - opad efektywny w mm,

I - ilość wody dostarczonej z nawodnień w mm,

W_d - odpływ (znak +) lub dopływ (znak -) wody do strefy korzeniowej w mm,

n - liczba dni od daty ostatniego nawodnienia do dnia wykonywania obliczeń.

Wartość ewapotranspiracji rzeczywistej wylicza się ze wzoru:

$$E_t = k \cdot E_{tp}$$

gdzie

E_{tp} - ewapotranspiracja potencjalna,

k - współczynnik roślinny zależny od gatunku rośliny, jej fazy rozwojowej, od rodzaju gleby i czynników agrotechnicznych.

Dobowe wartości ewapotranspiracji potencjalnej oszacowuje się przy pomocy wzorów opartych na pomiarach meteorologicznych. Obecnie najszerszej stosowanym wzorem jest formuła Penmana. Oryginalna formuła Penmana wymaga użycia średnich dobowych wartości następujących elementów meteorologicznych: temperatury powietrza, prężności pary wodnej, niedosytu wilgotności powietrza, prędkości wiatru (mierzonej na wysokości 2 metrów nad gruntem) oraz strumienia energii słonecznej, strumienia ciepła wymienianego z glebą i albedo dla danej rośliny. Wzór ten wymaga więc kilkakrotnego w ciągu doby wykonywania pomiarów meteorologicznych, co przy gęstej sieci stacji (potrzebnej do prognozowania nawodnień) staje się i pracochłonne i kosztowne. Z tych względów została opracowana przez specjalistów amerykańskich [1] uproszczona forma wzoru Penmana, która wymaga jedynie jednorazowego w ciągu dnia dokonywania pomiarów meteorologicznych. Metoda ta została w USA sprawdzona i jest obecnie używana do celów prognozowania nawodnień.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie rezultatów dociekań nad możliwością zastosowania tej metody w Polsce. Badania prowadzone są w ramach programu rządowego PR-7 i są koordynowane przez IMUZ w Falentach.

Przedstawione poniżej wyniki dotyczą porównania dobowych i konsekwentnych trzydniowych sum E_{tp} , obliczonych oryginalną i uproszczoną formułą Penmana dla pastwiska w Zielęcinie w woj. poznańskim w gminie Wielichowo w maju w 1978 i 1979 roku.

W pracy wykorzystano publikowane w literaturze [1, 5] wzory na obliczanie ewapotranspiracji potencjalnej oryginalną i uproszczoną metodą Penmana. Równanie pozwalające obliczyć współczynnik $\frac{A}{\gamma}$ jest własnym rozwiązaniem autorów. Współczynniki empiryczne użyte w poszczególnych wzorach przyjęto za cytowanymi autorami, z tym że we wzorze 1.4 oraz 2.6 w części dotyczącej wpływu czynników higroaerodynamicznych na parowanie przyjęto współczynnik 0,75 jako wartość średnią z proponowanych przez Penmana wartości 0,5 i 1,0. W oryginalnej metodzie Penmana posługujemy się następującymi wzorami:

$$E_{tp} = \left(\frac{\Delta}{\gamma} R + E_a\right) : \left(\frac{\Delta}{\gamma} + 1\right) \quad 1$$

$$R = (1 - \alpha)R_s + R_1 + G \quad 1.1$$

$$R_s = \frac{R_o}{L} (0,18 + 0,55u) \quad 1.2$$

$$R_1 = - \frac{\sigma}{L} T^4 (0,56 - 0,080\sqrt{e}) \cdot (0,10 + 0,90u) \quad 1.3$$

$$E_a = 0,26(0,75 + 0,0062U_2)d \quad 1.4$$

W uproszczonej metodzie Penmana stosujemy następujące wzory:

$$E_{tp} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_1}{L} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_{a_1} \quad 2$$

$$R_1 = (1 - \alpha)R_s + R_{1_1} + G \quad 2.1$$

R_s powinno być rejestrowane, a jeżeli nie ma takich danych, to można je obliczyć tak, jak w oryginalnej metodzie Penmana.

$$R_{1_1} = - \left(1,29 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,26\right) R_{bo} \quad 2.2$$

$$R_{so} = 0,73 \frac{R_o}{L} \quad 2.3$$

$$R_{bo} = (a - 0,044\sqrt{e_1})\sigma \frac{T_1^4 + T_2^4}{2} \quad 2.4$$

$$a = 0,325 + 0,045 \sin(30M - 45 + D) \quad 2.5$$

$$E_a = 0,26(0,75 + 0,0062U_2)d_1 \quad 2.6$$

$$\frac{\Delta}{\gamma} = (0,6685 - 0,00465t)\exp(0,07198t - 0,00025t^2) \quad 2.7$$

$$\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} = \frac{\frac{\Delta}{\gamma}}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \quad 2.8$$

$$\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} = \frac{1}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \quad 2.9$$

W podanych wzorach znaczenie symboli jest następujące:
indeks 1 odnosi się do wzorów w metodzie uproszczonej

- E_{tp} - ewapotranspiracja potencjalna w mm/dobę,
- R - bilans promieniowania wyrażony w mm H_2O /dobę,
- R_s - napromieniowanie krótkofalowe powierzchni parującej wyrażone w mm H_2O /dobę,
- R_l - bilans promieniowania długofalowego wyrażony w mm H_2O /dobę,
- G - strumień ciepła skierowanego z gleby do powierzchni parującej, wyrażony w mm H_2O /dobę,
- R_{so} - napromieniowanie krótkofalowe przy bezchmurnym niebie, wyrażone w mm H_2O /dobę,
- R_{bo} - wypromieniowanie długofalowe przy bezchmurnym niebie, wyrażone w mm H_2O /dobę,
- α - albedo powierzchni parującej,
- L - utajone ciepło parowania wody, przyjęto $585 \text{ cal} \cdot g^{-1}$,
- u - usłonecznienie względne,
- σ - stała Stefana-Boltzmana równa $2,01 \cdot 10^{-9} \text{ mm H } 09/\text{dobę} \cdot K^4$,
- t - średnia dobową temperatura powietrza w $^{\circ}C$,
- T - średnia dobową temperatura powietrza w $^{\circ}K$,
- T_1 - maksymalna dobową temp. powietrza w $^{\circ}K$,
- T_2 - minimalna dobową temp. powietrza w $^{\circ}K$,
- e - średnia dobową prężność pary wodnej wyrażona w milibarach,
- e_1 - prężność pary wodnej o godzinie 8,
- d - średni dobowy niedosyt wilgotności wyrażony w milibarach,
- d_1 - niedosyt wilgotności wyliczony jako: $e_s - e_1$, gdzie
 e_s - prężność nasyconej pary wodnej w temperaturze $t_1 = (T_1 + T_2):2$,
- a - współczynnik empiryczny,
- M - numer miesiąca, poczynając od stycznia,
- D - numer dnia w miesiącu,
- E_a - zdolność ewaporacyjna powietrza wyrażona w mm H_2O /dobę,
- U_2 - prędkość wiatru w km/dobę,
- Δ - współczynnik nachylenia krzywej prężności nasyconej pary wodnej w funkcji temperatury, wzięty w temperaturze t ,
- γ - stała psychrometryczna równa $0,66 \text{ mb/stop}$.

Dane meteorologiczne użyte w obliczeniach przedstawione są w tabelach 1 i 2, a wyniki obliczeń przedstawione są w tabelach 3-6 oraz na rysunkach 1-3.

Elementy meteorologiczne uwzględniane w metodzie Penmana

Maj 1978

Dzień m-ca	t °C	t _{max}	t _{min}	$\frac{t_{\max} + t_{\min}}{2}$	e	e ₁	d	d ₁	U ₂	u	$\frac{R_o}{T}$
1	9,4	14,0	6,1	10,0	10,3	9,8	1,8	2,9	370,5	0,0	14,14
2	7,0	9,6	6,0	7,8	9,5	9,2	0,4	1,4	264,3	0,0	14,23
3	8,7	15,1	3,7	9,4	9,3	7,1	3,0	4,7	148,6	0,797	14,33
4	8,1	14,9	0,6	7,8	6,2	5,7	6,5	4,9	95,4	0,853	14,41
5	12,3	20,4	3,4	11,9	7,9	7,0	9,2	6,9	223,6	0,705 ^e	14,51
6	14,8	19,8	11,5	15,6	11,9	10,9	6,3	6,8	215,2	0,171	14,58
7	14,0	19,3	9,4	14,4	14,1	13,0	3,1	3,4	262,0	0,118	14,66
8	10,8	14,7	10,3	12,5	12,3	12,4	0,3	2,1	324,2	0,0	14,73
9	9,5	15,4	7,4	11,4	8,3	9,4	4,7	4,1	372,6	0,390	14,81
10	3,6	11,1	1,7	6,4	4,3	5,8	3,9	3,8	365,4	0,310	14,88
11	1,6	5,6	-2,5	1,6	6,1	6,4	0,7	0,4	195,8	0,342	14,95
12	2,5	6,9	-3,2	1,8	5,6	5,3	2,1	1,7	139,5	0,296	15,03
13	6,2	10,3	2,1	6,2	7,3	6,1	3,6	3,4	89,4	0,141	15,10
14	7,1	13,6	2,0	7,8	8,8	9,3	3,0	1,3	56,2	0,338	15,18
15	9,0	14,9	-0,3	7,3	9,5	9,2	3,2	1,0	84,2	0,235	15,25
16	9,2	15,7	3,3	9,5	9,7	10,2	3,9	1,7	109,5	0,190	15,32
17	10,8	16,6	6,2	11,4	9,3	8,7	5,0	4,8	33,2	0,430	15,39
18	11,8	17,6	5,1	11,3	10,3	10,6	4,9	2,8	105,4	0,220	15,45
19	13,1	20,4	6,6	13,5	8,8	10,1	8,9	5,4	168,2	0,740	15,52
20	15,0	21,8	8,0	14,9	10,8	10,0	8,0	7,0	116,0	0,675	15,59
21	17,2	22,8	9,8	16,3	12,1	13,4	10,4	5,1	127,8	0,599	15,66
22	16,0	20,9	11,1	16,0	15,2	13,7	4,0	4,5	233,7	0,0	15,73
23	17,7	22,0	14,5	18,2	15,8	15,5	5,4	4,7	158,8	0,279	15,74
24	16,4	19,6	13,6	16,6	14,5	14,9	4,6	4,0	79,5	0,334	15,86
25	14,6	19,9	11,2	15,6	15,1	14,7	3,8	1,9	76,0	0,278	15,93
26	14,6	20,2	7,6	13,9	12,3	13,1	6,3	3,5	107,0	0,855	15,98
27	15,5	22,0	7,5	14,8	11,3	10,4	9,0	6,4	96,0	0,878	16,02
28	16,3	22,8	8,0	15,4	12,7	12,3	8,9	5,2	115,8	0,704	16,07
29	17,2	23,7	9,4	16,6	12,0	11,8	10,6	7,8	245,8	0,867	16,12
30	17,2	24,4	7,6	16,0	11,4	11,1	11,6	7,1	90,3	0,883	16,16
31	19,1	26,8	9,5	18,2	12,8	13,6	13,5	7,3	49,4	0,839	16,21

T a b e l a 2

Dane meteorologiczne, uwzględnione w metodzie Penmana
Maj, 1979 rok

Dzień m-ca	t	T ₁	T ₂	t ₁	e	e ₁	d	d ₁	U ₂	u	$\frac{R_o}{L}$
1	4,9	9,2	0,6	4,9	6,4	6,4	2,8	2,3	186	0,388	14,14
2	6,4	12,5	0,8	6,6	7,3	7,7	3,5	2,0	280	.	14,23
3	5,0	10,4	1,6	6,0	5,8	5,6	3,8	3,8	159	0,505	14,33
4	6,0	12,7	-0,4	6,2	5,9	6,4	4,8	3,1	125	0,556	14,42
5	5,9	10,0	2,4	6,2	7,6	7,2	2,4	2,3	131	.	14,51
6	6,0	12,2	1,2	6,7	5,3	6,3	4,6	3,5	148	0,604	14,58
7	5,7	10,6	2,4	6,5	6,6	6,8	3,4	3,1	98	0,288	14,66
8	9,3	16,2	1,0	8,6	5,5	7,4	8,5	3,8	105	0,821	14,73
9	10,4	17,2	2,4	9,8	6,9	8,6	8,2	2,4	75	0,740	14,81
10	9,3	17,2	4,6	10,9	8,2	9,7	5,1	3,6	225	0,543	14,88
11	9,2	15,5	2,0	8,8	7,0	5,7	6,6	5,6	90	0,709	14,95
12	11,6	16,4	7,6	12,0	8,5	9,1	5,8	4,9	65	0,039	15,03
13	12,7	17,8	9,2	12,5	8,8	9,5	7,3	5,0	62	0,039	15,10
14	14,1	21,8	5,0	13,4	7,4	9,9	7,8	5,5	33	0,740	15,18
15	17,5	24,8	9,6	17,2	11,6	13,6	12,5	6,0	33	0,839	15,25
16	18,1	25,8	9,4	17,6	10,3	12,6	14,7	7,5	150	0,780	15,32
17	19,6	27,8	10,8	19,3	11,4	11,4	16,1	11,0	138	0,581	15,39
18	19,1	25,4	12,6	19,0	15,6	16,2	9,7	5,8	81	0,428	15,45
19	17,4	22,6	11,5	17,0	14,0	13,8	8,5	5,6	136	0,452	15,52
20	16,6	22,4	12,2	17,3	12,9	12,5	7,6	7,2	254	0,113	15,59
21	20,8	26,7	17,0	21,8	15,3	17,4	11,6	8,7	129	0,500	15,66
22	17,6	23,2	14,0	18,6	13,8	14,5	8,2	6,9	58	0,771	15,73
23	20,1	27,0	11,4	19,2	15,0	18,0	12,8	4,2	116	0,719	15,79
24	22,2	28,5	16,0	22,2	15,2	17,4	15,0	9,4	280	0,773	15,86
25	13,8	17,4	11,6	14,5	10,4	11,3	6,2	5,2	118	0,296	15,93
26	15,9	23,7	6,2	15,0	10,5	11,4	11,4	5,6	146	0,689	15,98
27	19,2	27,8	10,0	18,9	13,6	14,2	13,6	7,6	180	0,650	16,02
28	14,9	18,4	10,9	14,6	13,5	14,0	5,2	2,6	120	0,330	16,07
29	16,7	22,8	9,2	16,0	12,6	13,2	10,0	5,0	102	0,794	16,12
30	19,2	25,5	11,7	18,6	14,1	14,0	11,3	7,4	129	0,828	16,16
31	22,8	30,4	14,4	22,4	15,7	21,3	17,3	5,8	122	0,802	16,21

T a b e l a 3

Poszczególne składowe wzoru w oryginalnej metodzie Penmana

Maj 1978

$\frac{R_o}{L}$	R_s	R_1	R	E_a	$\frac{\Delta}{\gamma}$	E
14,14	2,55	0,389	1,57	1,43	1,202	1,51
14,23	2,56	0,389	1,58	0,25	1,040	0,93
14,33	8,86	3,279	3,53	1,32	1,153	2,50
14,42	9,36	3,940	3,26	2,29	1,111	2,80
14,51	8,24	3,287	3,05	5,17	1,427	3,92
14,58	4,00	0,998	2,08	3,45	1,647	2,60
14,66	3,59	0,732	2,01	1,94	1,574	1,98
14,73	2,67	0,365	1,69	0,22	1,307	1,05
14,81	5,84	1,881	2,59	3,78	1,209	3,13
14,88	5,22	1,762	2,26	3,09	0,842	2,71
14,95	5,50	1,694	2,54	0,36	0,741	1,29
15,03	5,15	1,578	2,39	0,88	0,785	1,54
15,10	3,89	0,956	2,04	1,22	0,990	1,63
15,18	5,55	1,618	2,66	0,86	1,046	1,78
15,25	4,72	1,245	2,39	1,06	1,174	1,78
15,31	4,36	1,077	2,28	1,45	1,188	1,90
15,39	6,41	2,012	2,92	1,24	1,307	2,19
15,45	4,65	1,199	2,38	1,79	1,386	2,13
15,52	9,11	3,338	3,68	4,15	1,494	3,87
15,59	8,59	2,915	3,70	3,06	1,666	3,46
15,66	7,98	2,574	3,57	4,17	1,885	3,78
15,73	2,83	0,347	1,83	2,29	1,763	2,00
15,79	5,27	1,223	2,83	2,44	1,938	2,70
15,86	5,77	1,446	3,00	1,49	1,803	2,35
15,93	5,30	1,203	2,88	1,21	1,629	2,24
15,98	10,39	3,350	4,65	2,32	1,629	3,76
16,02	10,18	3,435	4,40	3,15	1,714	3,94
16,07	9,11	2,847	4,17	3,40	1,793	3,89
16,12	10,59	3,560	4,59	6,27	1,885	5,17
16,16	10,76	3,708	4,58	3,95	1,885	4,36
16,21	10,40	3,435	4,57	3,71	2,092	4,29

Poszczególne składowe wzoru w oryginalnej metodzie Penmana
Maj, 1979 rok

Dzień m-ca	R_s	R_l	R	$\frac{\Delta}{\bar{T}}$	E_a	E	$\sum_{i=1}^{i+2} E$
1	5,56	1,93	2,35	0,913	1,39	1,85	
2	2,56	0,42	1,55	1,002	2,26	1,90	
3	6,56	2,45	2,60	0,919	1,71	2,14	5,89
4	7,01	2,68	2,71	0,978	1,90	2,30	6,34
5	2,61	0,41	1,60	0,972	0,97	1,28	5,72
6	7,47	2,95	2,80	0,978	1,99	2,39	5,97
7	4,96	1,55	2,27	0,960	1,20	1,72	5,39
8	9,30	4,00	3,16	1,195	3,06	3,11	7,22
9	8,69	3,48	3,21	1,276	2,59	2,94	7,77
10	7,12	2,49	2,99	1,195	2,84	2,92	8,97
11	8,52	3,29	3,27	1,188	2,24	2,80	8,66
12	3,03	0,58	1,75	1,370	1,74	1,75	7,47
13	3,04	0,59	1,75	1,460	2,15	1,91	6,46
14	8,91	3,59	3,27	1,583	1,94	2,76	6,42
15	9,78	3,53	4,00	1,917	3,10	3,69	8,36
16	9,33	3,52	3,66	1,981	6,42	4,59	11,04
17	7,66	2,70	3,20	2,150	6,72	4,32	12,60
18	6,42	1,74	3,20	2,092	3,16	3,19	12,10
19	6,65	1,89	3,23	1,906	3,52	3,33	10,84
20	3,78	0,78	2,13	1,823	4,59	3,00	9,52
21	7,13	2,04	3,45	2,293	4,67	3,82	10,15
22	9,50	3,00	4,32	1,927	2,37	3,65	10,47
23	9,09	2,78	4,22	2,209	4,89	4,43	11,90
24	9,56	3,02	4,34	2,470	9,70	5,88	13,96
25	5,46	1,51	2,69	1,556	2,39	2,57	12,88
26	8,93	3,04	3,84	1,753	4,91	4,23	12,68
27	8,61	2,67	3,96	2,104	6,60	4,81	11,61
28	5,81	1,46	3,01	1,657	2,02	2,64	11,68
29	9,94	3,19	4,46	1,833	3,59	4,15	11,60
30	10,27	3,22	4,69	2,104	4,55	4,64	11,43
31	10,07	3,08	4,67	2,549	6,78	5,26	14,05

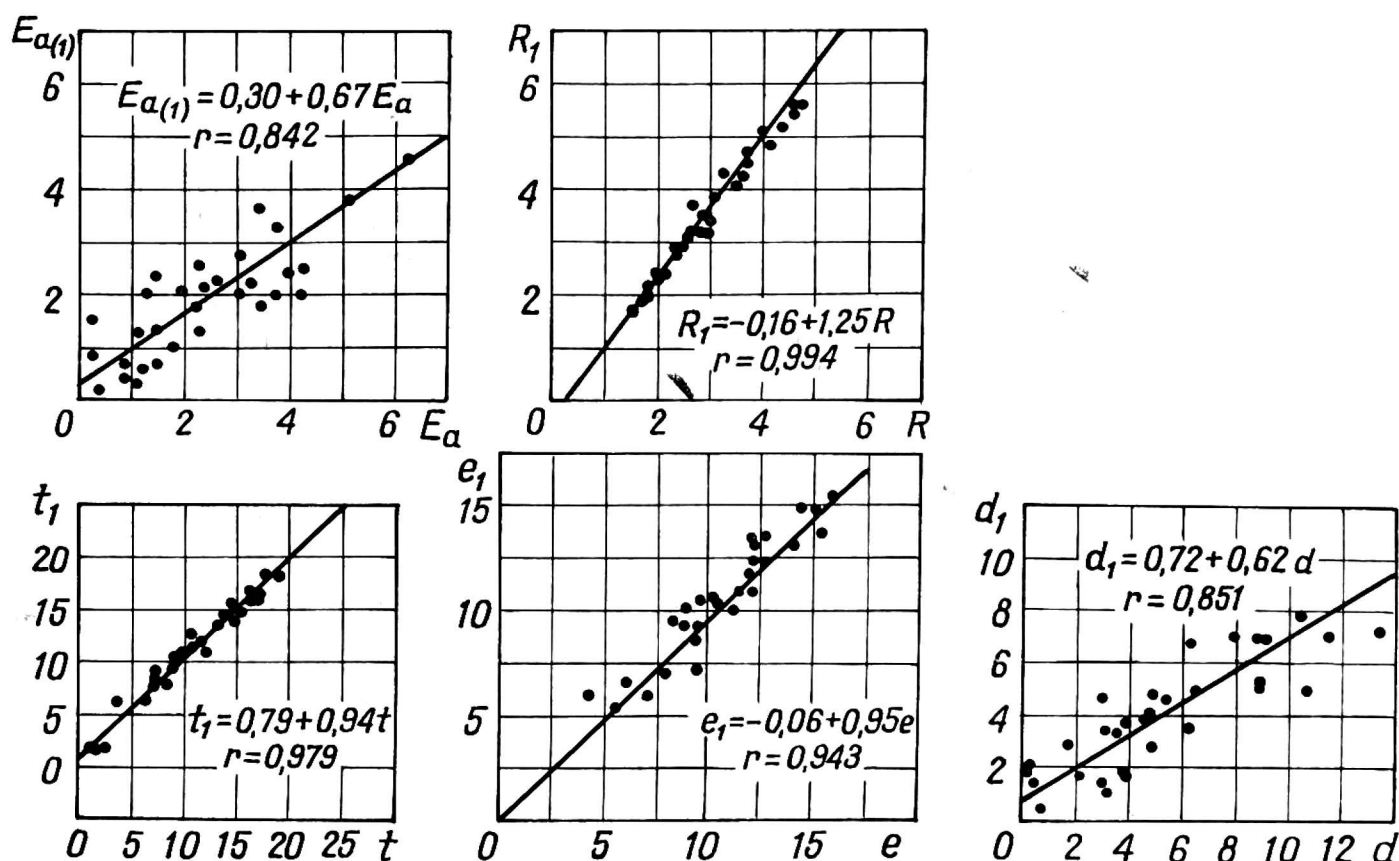
T a b e l a 6

Poszczególne składowe wzoru w uproszczonej metodzie Penmana
Maj, 1979 rok

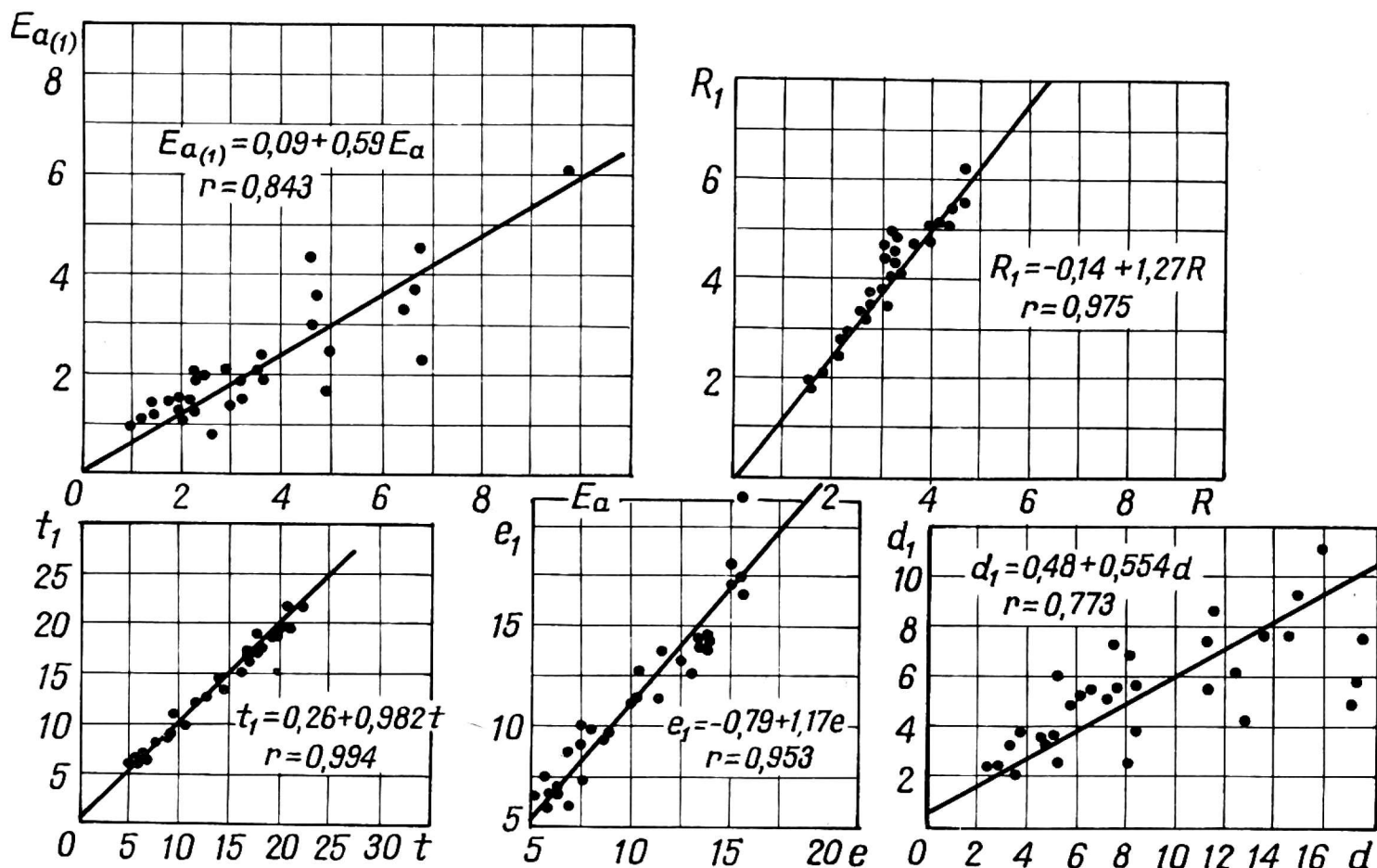
Dzień m-ca	R_s	a_2	R_{bo}	$\frac{R_s}{R_{so}}$	R_{l_1}	R_1	E_{a_1}	$\frac{\Delta}{f}$	E_1	$\sum_i^{i+2} E_1$
1	5,56	0,368	3,09	0,539	1,35	2,93	1,14	0,913	1,99	
2	2,56	0,368	3,04	0,247	0,18	1,79	1,29	1,015	1,54	
3	6,56	0,368	3,23	0,627	1,77	3,28	1,72	0,978	2,49	6,02
4	7,01	0,368	3,15	0,665	1,88	3,52	1,23	0,990	2,37	6,40
5	2,61	0,367	3,05	0,247	0,18	1,83	0,93	0,990	1,38	6,24
6	7,47	0,367	3,17	0,702	2,05	3,70	1,52	1,021	2,62	6,37
7	4,96	0,367	3,11	0,464	1,05	2,77	1,09	1,008	1,93	5,93
8	9,30	0,366	3,15	0,865	2,70	4,46	1,38	1,146	3,02	7,57
9	8,69	0,366	3,08	0,804	2,39	4,30	0,76	1,231	2,71	7,66
10	7,12	0,366	3,02	0,656	1,77	3,77	2,01	1,314	2,98	8,71
11	8,52	0,365	3,31	0,781	2,47	4,09	1,90	1,160	3,08	8,77
12	3,03	0,365	3,09	0,276	0,30	2,03	1,47	1,402	1,80	7,86
13	3,04	0,365	3,12	0,276	0,30	2,04	1,47	1,443	1,81	6,69
14	8,91	0,364	3,07	0,804	2,39	4,47	1,37	1,521	3,24	6,85
15	9,78	0,364	2,90	0,879	2,53	5,00	1,49	1,885	3,78	8,83
16	9,33	0,364	3,00	0,834	2,45	4,73	3,28	1,927	4,23	11,25
17	7,66	0,363	3,17	0,684	1,97	3,93	4,59	2,115	4,14	12,15
18	6,42	0,363	2,73	0,569	1,29	3,65	1,89	2,081	3,08	11,45
19	6,65	0,362	2,84	0,587	1,41	3,71	2,32	1,864	3,22	10,44
20	3,78	0,362	2,96	0,332	0,50	2,41	4,35	1,896	3,08	9,38
21	7,13	0,361	2,71	0,623	1,47	4,02	3,51	2,419	3,87	10,17
22	9,50	0,361	2,82	0,827	2,28	5,03	1,99	2,036	4,03	10,98
23	9,09	0,360	2,56	0,788	1,94	5,06	1,60	2,104	3,95	11,85
24	9,56	0,360	2,71	0,829	2,19	5,17	6,08	2,470	5,43	13,41
25	5,46	0,359	2,91	0,470	1,01	3,19	2,00	1,619	2,74	12,12
26	8,93	0,359	2,93	0,766	2,13	4,75	2,41	1,666	3,87	12,04
27	8,61	0,358	2,83	0,736	1,95	4,68	3,69	2,070	4,36	10,97
28	5,81	0,358	2,67	0,495	1,01	3,46	1,01	1,628	2,53	10,76
29	9,94	0,357	2,78	0,845	2,31	5,34	1,80	1,763	4,06	10,95
30	10,27	0,357	2,81	0,870	2,42	5,49	2,98	2,036	4,66	11,25
31	10,07	0,365	2,36	0,851	1,98	6,26	2,27	2,496	5,12	13,84

Danymi meteorologicznymi, których wartość ulega zmianie przy przejściu od oryginalnego wzoru Penmana do uproszczonego, są: temperatura powietrza, prężność pary wodnej i niedosyt wilgotności powietrza. Pozostałe dane są takie same w obydwu metodach. Średnia dobowa temperatura powietrza oszacowana jest w uproszczonej metodzie przez wartość średnią z temperatury maksymalnej i minimalnej w danej dobie, średnia dobowa prężność pary wodnej jest zastąpiona wartością prężności pary wodnej o godzinie 8, a niedosyt wilgotności powietrza jest określony pośrednio, na podstawie dwóch wyżej wymienionych elementów.

Na rysunkach 1 i 2 na dolnych wykresach przedstawiono zależności pomiędzy wartościami temperatury powietrza, prężności pary wodnej i niedosytu wilgotności powietrza w oryginalnej i uproszczonej metodzie Penmana. Jak wynika z zamieszczonych na wykresach wartości współczynników regresji i korelacji, największym błędem obarczone jest oszacowanie wartości niedosytów wilgotności powietrza.



Rys. 1. Współzależność temperatury powietrza (t), prężności pary wodnej (e), niedosytu wilgotności powietrza (d), wskaźnika bilansu promieniowania (R) oraz higroaerodynamicznego wskaźnika parowania (E_a), obliczonych oryginalnym i uproszczonym (indeks 1) wzorem Penmana. Maj, 1978 rok

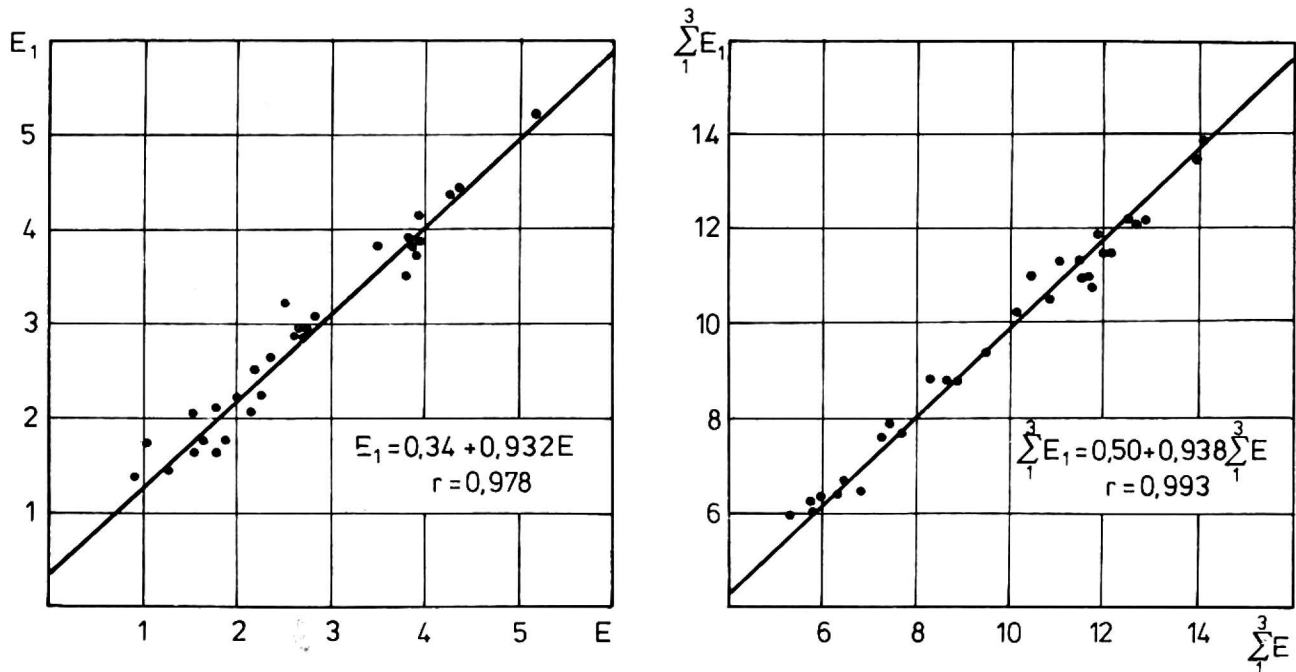


Rys. 2. Współzależność temperatury powietrza (t), prężności pary wodnej (e), niedosytu wilgotności powietrza (d), wskaźnika bilansu promieniowania (R) oraz higroaerodynamicznego wskaźnika parowania (E_a), obliczonych oryginalnym i uproszczonym (indeks 1) wzorem Penmana. Maj, 1979 rok

Wartości temperatury powietrza są w uproszczonym wzorze nieco większe od rzeczywistych w przedziale temperatur do 15°C w 1978 roku i do 14°C w 1979 roku, a powyżej tej temperatury są nieco mniejsze. Błędy oszacowania wahają się od +10% przy niskich temperaturach (rzędu kilku stopni) do -2% przy temperaturach rzędu dwudziestu kilku stopni. Błąd oszacowania wartości prężności pary wodnej waha się od 7% przy wartościach około 5 mbarów do 5% przy wartościach około 15 mbarów w 1978 roku i od 1 do 12% przy wyższych wartościach w 1979 roku. Oszacowane wartości są nieco mniejsze od rzeczywistych w 1978 roku i nieco większe w 1979 roku. Natomiast oszacowane wartości niedosytu są, z wyjątkiem przedziału do 2 mbarów, mniejsze od wartości rzeczywistych. Błąd oszacowania dochodzi do -30% w 1978 roku i do -40% w 1979 roku przy wartościach niedosytu około 15 mbarów. Ten duży błąd w oszacowaniu niedosytu pochodzi od kumulowania się w nim

błędów oszacowania temperatury powietrza i prężności pary wodnej.

Na rysunkach 1 i 2 na górnych wykresach przedstawiono zależności pomiędzy wartościami E_a i R , obliczonymi obydwiema metodami. Jak widać na wykresach, błędy w oszacowaniu wartości E_a i R mają przeciwne znaki; oszacowane wartości E_a są mniejsze, a wartości R są większe od rzeczywistych.



Rys. 3. Współzależność dobowych sum parowania potencjalnego w maju 1978 roku (wykres pierwszy) oraz kolejnych trzydniowych sum parowania w maju 1979 roku, obliczonych oryginalnym i uproszczonym (indeks 1) wzorem Penmana

Na rysunku 3 na pierwszym wykresie przedstawiona jest zależność dobowych sum E_{tp} w maju 1978 roku, obliczonych oryginalną metodą (E) i uproszczoną (E_1) m. Związek tych dwóch wielkości jest bardzo silny. Współczynnik determinacji (dopasowania) r^2 wynosi 0,956. Metoda uproszczona daje praktycznie takie same wyniki, jak oryginalna. Średnie dobowe wartości E_{tp} , obliczone oryginalną i uproszczoną metodą, wynoszą odpowiednio 2,68 i 2,84 w 1978 roku oraz 3,23 i 3,20 w roku 1979.

We wspomnianej na wstępie numerycznej metodzie prognozowania nawodnień na pewnym etapie obliczeń szacuje się wartość E_{tp} w dniu następnym na podstawie średniej wartości E_{tp} w trzech ostatnich dniach. Obliczono więc konsekwentne trzydniowe sumy E_{tp} w obydwu metodach, a wyniki przedstawiono na rysunku 3 na drugim wykresie. Wykres dotyczy maja w 1979 roku. Różnice pomiędzy obydwiema metodami nie przekraczają

10%, w 11 przypadkach przekraczają tylko 5%, a w wartościach bezwzględnych różnica nie przekracza 1 mm.

Na podstawie zamieszczonych powyżej obliczeń i analiz można powiedzieć, że:

1. Zastosowanie uproszczonej metody Penmana w miejsce oryginalnej nie wprowadziło istotnych praktycznie zmian w oszacowaniu E_{tp} .
2. Metoda uproszczona powoduje zwiększenie wpływu bilansu promieniowania na parowanie, a zmniejszenie wpływu siły wysuszającej powietrza. Wielkości zmian praktycznie się znoszą, przez co oszacowane wartości obydwiema metodami są podobne.
3. Największe błędy w metodzie uproszczonej pochodzą od niedosytu wilgotności powietrza. Błędy te są tym większe im większe wahania temperatury powietrza. Odchylenia standardowe średnich dobowych wartości temperatur wynosiły 4,74 w 1978 roku i 5,72 w 1979 roku, a współczynniki korelacji równań $d_1 = f(d)$ były 0,851 i 0,773 w odpowiednich latach.
4. Przyszłe badania będą więc miały na celu przeanalizowanie wpływu terminu dokonywania pomiarów meteorologicznych w uproszczonej metodzie Penmana, aby w warunkach klimatycznych Polski otrzymać lepsze oszacowanie wartości niedosytu wilgotności powietrza.

Drugim celem będzie sprawdzenie wartości stałych współczynników empirycznych, które na razie przyjęliśmy za autorami amerykańskimi.

LITERATURA

1. Jensen M.E., Wright J.L., Pratt B.J.: Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. Trans. ASAE 14/5, 1971.
2. Jensen M.E., Robb D.C.N., Franzoy C.E.: Scheduling irrigations using climate-crop-soil data. J.Irrig. and Drain. Div. 6/IR 1, 1970.
3. Jensen M.E.: Programming irrigation for greater efficiency In: D. Hillel (Ed) - Optimizing the Soil Physical Environment Toward Greater Crop Yields. Academic Press. New York, 1972.
4. Rosenberg N.: Microclimate: The Biological Environment. John Wiley and Sons. New York, 1974.
5. Shiau S.Y., Davar K.S.: Modified Penman Method for Potential Evapotranspiration from Forest Regions. J. of Hydr. North - Holland Publishing Co, Amsterdam, 1973.
6. Taylor S.A.: Physical Edaphology. W.H. Freeman and Company. San Francisco, 1972.

А. Кэндзёра, Р. Шефке, М. Спыхальски, Я. Послушны

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УПРОЩЕННОГО МЕТОДА ПЕНМАНА ДЛЯ
ТАКСАЦИИ ЭВАПОТРАНСПИРАЦИИ К ЦЕЛЮ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИРИГАЦИИ

Р е з ю м е

В работе представлены результаты оценки возможности применения сокращенного метода Пенмана для учёта суточных стоимости потенциальной эвапотранспирации. Провелись сравнения результатов учёта суток суточных сумм E для месяца мая 1978 и 1979, при использовании оригинального и сокращенного методов Пенмана. Полученные результаты свидетельствуют о том, что для практических целей можно использовать сокращённую формулу Пенмана. Разница трёхдневных консективных сумм E не превышала 1 мм или 10% реальной стоимости. Серьёзные ошибки возникают из оценки дефицита влажности воздуха, потому что суммируются здесь ошибки оценки температуры и упругости водного пара.

A. Kędziora, R. Schefke, M. Spychalski, J. Posłuszny

POSSIBILITY OF THE USE OF SIMPLIFIED PENMAN'S METHOD FOR
CALCULATION OF POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION FOR
SCHEDULING IRRIGATIONS

S u m m a r y

Possibility of the use of simplified method for calculation of potential evapotranspiration was checked. It was done by comparison of the values of E_{tp} obtained by use of original and simplified Penman methods. The results of analysis show, that it is possible to use simplified Penman method for estimating E_{tp} value and use it for scheduling irrigations in climatic conditions of Poland.

The differences between consecutive three-day sums of E_{tp} obtained by the use of both methods were less than 1 mm or 10% of real value. The highest errors of estimation have appeared at vapour pressure deficit case. It was caused by accumulation of estimation errors of temperature and vapour pressure.