

EWAPOTRANSPIRACJA POTENCJALNA I OPADY ATMOSFERYCZNE
WE WROCŁAWIU-SWOJCU W WIELOLECIU 1965-2000

Elżbieta Musiał¹, Marian S. Rojek²

¹Katedra Matematyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław
e-mail: musial@ozi.ar.wroc.pl

²Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Zakład Agro- i Hydrometeorologii,
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław

Streszczenie. W pracy przedstawiono analizę zmienności dekadowych, miesięcznych i półrocznych sum opadów atmosferycznych (P), ewapotranspiracji potencjalnej (ETP) oraz różnicy pomiędzy tymi wielkościami nazywanej klimatycznym bilansem wodnym (KBW). Obliczenia wykonano dla wszystkich dekad półrocza letniego (od początku kwietnia do końca września) na podstawie pomiarów przeprowadzonych w Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii Wrocław-Swojec w okresie 1965-2000. Sumy ewapotranspiracji potencjalnej wyznaczono na podstawie oryginalnej wersji wzoru Penmana. Analizowano wartości średnie i ekstremalne oraz wielkości odchylenia standardowego dla wszystkich przyjętych przedziałów czasowych. Wyznaczono równania trendu liniowego, które wskazują tendencje wzrostową sum ewapotranspiracji potencjalnej oraz malejącą sum opadów atmosferycznych w opracowywanym 36-leciu. Największą zmienność czasową stwierdzono w przypadku klimatycznych bilansów wodnych, następnie opadów atmosferycznych i zdecydowanie najmniejszą w przypadku ewapotranspiracji potencjalnej.

Słowa kluczowe: ewapotranspiracja potencjalna, klimatyczny bilans wodny, opady atmosferyczne, trendy liniowe

WSTĘP

Problematyka zmienności czasowej i przestrzennej różnych rodzajów parowania (w tym ewapotranspiracji potencjalnej) i jego relacji do opadów atmosferycznych obecna jest w pracach polskich klimatologów od kilkudziesięciu lat. Prace te dotyczą albo aspektów metodycznych i porównania parowania mierzonego lub obliczanego różnymi metodami w skali punktu (Bac 1970, Michna 1964, Sarnacka i in. 1983), albo opracowań dotyczących rozkładu przestrzennego w różnych regio-

nach Polski (Kowanetz 2004, Schmuck 1965) oraz na obszarze całego kraju (Gutry-Korycka 1978, Jaworski 1968, Rojek i Wiercioch 1995). Jednym z cenniejszych – i jedynym nam znanym – opracowań dotyczących rozkładu przestrzennego na obszarze Polski parowania potencjalnego wyznaczonego wzorem Penmana jest publikacja Olechnowicz-Bobrowskiej (1978). Rozpowszechnienie (w połowie ubiegłego wieku) i kolejne modyfikacje metody Penmana znalazły swoje zastosowanie praktyczne, m. in. w formie instrukcji wdrożeniowej Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych (Roguski i in. 1988) zalecającej stosowanie tego wzoru podczas projektowania i eksploatacji urządzeń nawadniających. Zgromadzenie ciągów pomiarowych z okresów kilkudziesięcioletnich i rozwój technik obliczeniowych z wykorzystaniem nowoczesnych metod statystycznych zaowocowały pracami, w których można znaleźć próby określenia tendencji zmian parowania dla okresów dobowych (Kaszewski i Siwek 2004) lub dłuższych (Bąk 2006, Bryś i Bryś 2004). Zagadnieniem wzajemnych relacji między dobowymi sumami różnych rodzajów parowania zajmowali się również wcześniej autorzy niniejszej pracy (Musiał i Rojek 1990a, 1990b).

MATERIAŁ I METODY

Celem pracy była analiza zmienności czasowej dekadowych sum opadów atmosferycznych, ewapotranspiracji potencjalnej i klimatycznych bilansów wodnych w okresie 1965-2000 podczas sezonu wegetacyjnego (IV-IX). Wszystkie dane meteorologiczne pochodzą z pomiarów wykonanych na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii Wrocław-Swojec. Według obowiązującej regionalizacji fizyczno-geograficznej Kondrackiego obszar badań leży w podprowincji Nizy Środkowopolskiego, północno zachodniej części makroregionu Niziny Śląskiej, na terenie mezoregionu Pradoliny Wrocławskiej i Równiny Oleśnickiej. Średnia rzędna terenu wynosi 120,40 m n.p.m., a współrzędne geograficzne obiektu to $\varphi = 51^{\circ}07'N$ i $\lambda = 17^{\circ}10'E$. Obserwatorium zlokalizowane jest w strefie wododziałowej niewielkiej zlewni cząstkowej o wystawie NE w dolnej części zlewni Widawy (dopływ Odry). Na stropie glin zwałowych występują piaski pylaste lub piaski gliniaste. Strop tej warstwy układa się na poziomie ok. 3 m. Jeszcze wyżej leżą piaski luźne i gliniaste mocne. Warstwę tę przykrywają gliny zwałowe młodsze, które występują na głębokościach 0,9-1,8 m. Poziom glebowy tworzą piaski gliniaste, gliniaste mocne oraz piaski średnie luźne, a więc jest to typ gleby charakterystyczny dla większości obszarów Polski nizinnej.

Pomiary wszystkich parametrów meteorologicznych były wykonywane zgodnie z obowiązującą instrukcją IMGW. Ewapotranspirację potencjalną obliczano wykorzystując założenie Penmana (1948), że gęstość strumienia ciepła utajonego przeznaczonego na parowanie można wyznaczyć z zależności:

$$LE = \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \left[\frac{\Delta}{\gamma} (R_n + G) + E_a \right] = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} (R_n + G) + E_a}{\left(1 + \frac{\Delta}{\gamma} \right)} \quad (1)$$

gdzie: R_n – gęstość strumienia salda promieniowania ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), G – gęstość strumienia ciepła odprowadzanego do gleby ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), LE – gęstość strumienia ciepła utajonego ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), E_a – zdolność ewaporacyjna powietrza ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), γ – stała psychrometryczna, Δ/γ – współczynnik, który określa podział wpływu na parowanie czynnika energetycznego ($R_n + G$) i czynnika aerodynamicznego (E_a).

Wartości strumienia ciepła glebowego (G) przyjęto za Kędziorą (1999) jako część salda promieniowania (R_n), natomiast zdolność ewaporacyjną powietrza (E_a), obliczono wzorem podanym przez tego samego autora (Kędziora 1999).

Pomiędzy strumieniem ciepła utajonego LE , dla dobowego przedziału czasowego, a wartością ewapotranspiracji potencjalnej ETP istnieje związek, który umożliwia zamianę Wm^{-2} na mm według wzoru:

$$ETP = n \frac{LE}{28,34} \quad (2)$$

gdzie n jest długością badanego kroku czasowego (dekada, miesiąc), a liczba w mianowniku wynika z wielkości utajonego ciepła parowania.

Wartości ewapotranspiracji potencjalnej (ETP) zostały wyznaczone przy pomocy specjalnie w tym celu przygotowanego programu komputerowego, którego autorami są Edward Gąsiorok i Elżbieta Musiał z Katedry Matematyki UP we Wrocławiu.

WYNIKI

W tabeli 1 zestawiono wartości średnie i ekstremalne oraz odchylenia standardowe dla wszystkich przyjętych przedziałów czasowych (dekada, miesiąc, półrocze letnie) analizowanych elementów meteorologicznych. Najwyższą średnią sumę miesięczną stwierdzono w lipcu (86,9 mm), natomiast najniższą w kwietniu (38,2 mm). Największą różnicę między maksymalną i minimalną sumą opadów w analizowanym 36-leciu stwierdzono również w lipcu. Z powodu tak dużej zmienności opadów w lipcu, najwyższa jest też wtedy wartość odchylenia standardowego (52,0 mm). Minimalną sumą opadów dekadowych jest wartość 0,0 mm, która wystąpiła w piętnastu spośród osiemnastu dekad. W pięciu dekadach wartość 0 wystąpiła więcej niż jeden raz (trzykrotnie w 2. dekadzie kwietnia i 1. dekadzie czerwca). W ośmiu latach okresu 1965-2000 nie stwierdzono żadnego ekstremum dekadowego, a najwięcej z nich podczas jednego roku (1976) to cztery dekady.

Tabela 1. Średnie, maksymalne, minimalne sumy i odchylenia standardowe (S), opadów, ewapotranspiracji potencjalnej i klimatycznych bilansów wodnych (mm) w okresach dziesięciodniowych (1,2,3) i miesiącach (m) półrocza letniego w wieloleciu 1965-2000.

Table 1. Average, maximum, minimum sums and standard deviation (S) of precipitations, potential evapotranspiration and climatic water balance (mm) in ten-days periods (1,2,3) and months (m) of summer half-year from the period 1965-2000

Wartość Value	IV				V				VI			
	1	2	3	m	1	2	3	m	1	2	3	m
Opady atmosferyczne – Precipitation												
Śr.-Aver.	11,7	13,4	13,1	38,2	18,7	16,6	20,9	56,2	18,4	27,8	25,2	71,4
Max	50,6	41,4	58,0	76,6	97,8	50,9	72,9	125,1	67,3	109,9	81,7	135,9
Min	0,0	0,0	0,0	5,7	0,0	0,0	0,0	5,1	0,0	1,0	0,0	17,6
S	10,1	10,8	13,2	17,6	19,8	13,9	18,9	31,6	15,2	21,6	17,6	28,5
Ewapotranspiracja potencjalna – Potential evapotranspiration												
Śr.-Aver.	20,5	22,6	26,1	69,2	30,2	32,2	35,8	98,2	35,5	34,4	35,4	105,3
Max	31,6	30,7	42,2	85,8	43,0	45,4	52,4	116,9	50,6	48,2	51,2	132,5
Min	12,4	15,9	16,3	54,5	19,6	18,8	24,8	73,1	24,4	22,7	24,2	85,8
S	4,6	4,2	5,2	7,7	6,0	6,6	6,5	12,3	6,2	6,1	6,1	11,5
Klimatyczny bilans wodny – Climatic water balance												
Śr.-Aver.	-8,8	-9,2	-13,0	-31,0	-11,5	-15,6	-14,9	-42,0	-17,1	-6,6	-10,2	-33,9
Max	36,1	24,8	41,7	21,4	77,1	21,0	33,8	52,0	40,9	83,1	51,4	36,3
Min	-31,6	-30,3	-42,2	-68,9	-42,3	-45,4	-49,0	-110,8	-46,3	-42,6	-47,8	-109,1
S	12,8	13,2	16,3	21,5	23,2	18,7	23,2	41,0	19,3	24,5	21,1	35,9

Wartość Value	VII				VIII				IX				IV-IX
	1	2	3	m	1	2	3	m	1	2	3	m	
Opady atmosferyczne – Precipitation													
Śr.-Aver.	31,3	30,8	24,8	86,9	25,9	18,7	24,8	69,4	16,4	16,7	14,2	47,3	369,4
Max	160,6	134,4	104,8	249,7	152,9	83,9	71,6	194,0	58,0	60,1	87,2	101,1	536,2
Min	0,0	0,5	0,0	12,2	0,0	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,3	4,2	197,6
S	31,2	29,6	22,9	52,0	31,0	18,2	20,2	41,7	13,8	15,8	15,5	26,0	81,7
Ewapotranspiracja potencjalna – Potential evapotranspiration													
Śr.-Aver.	39,4	36,9	42,0	118,3	38,9	35,4	32,9	107,2	25,6	21,4	17,2	64,2	562,4
Max	51,2	52,1	62,2	160,3	55,5	45,3	45,3	137,1	35,9	31,1	24,5	81,4	682,3
Min	28,0	26,2	29,6	89,1	28,3	23,2	23,4	87,0	20,4	14,6	11,1	52,6	415,1
S	6,3	6,4	8,8	16,7	6,9	6,0	4,9	12,5	3,9	4,0	3,0	7,5	43,9
Klimatyczny bilans wodny – Climatic water balance													
Śr.-Aver.	-8,1	-6,1	-17,2	-31,4	-13,0	-16,7	-8,1	-37,8	-9,2	-4,7	-3,0	-16,9	-193,0
Max	132,6	102,3	75,0	144,5	122,9	58,4	37,5	92,7	29,7	41,4	74,7	37,2	8,0
Min	-50,2	-51,4	-62,2	-148,1	-55,8	-45,3	-41,6	-115,6	-30,0	-18,8	-19,3	-65,3	-484,7
S	34,9	33,2	28,1	63,5	34,3	22,0	22,1	49,0	15,8	18,1	16,7	30,6	115,0

W przypadku ewapotranspiracji potencjalnej najwyższą średnią sumę miesięczną stwierdzono również w lipcu (118,3 mm) i w tym samym miesiącu wystąpiła największa zmienność (ETP zawierała się w przedziale od 89,1 do 160,3 mm). Wyraźnie najniższe sumy ETP występują we wrześniu i kwietniu. Ani jedna dekadowa wartość ekstremalna (minimum bądź maksimum) nie pojawiła się w 10 latach.

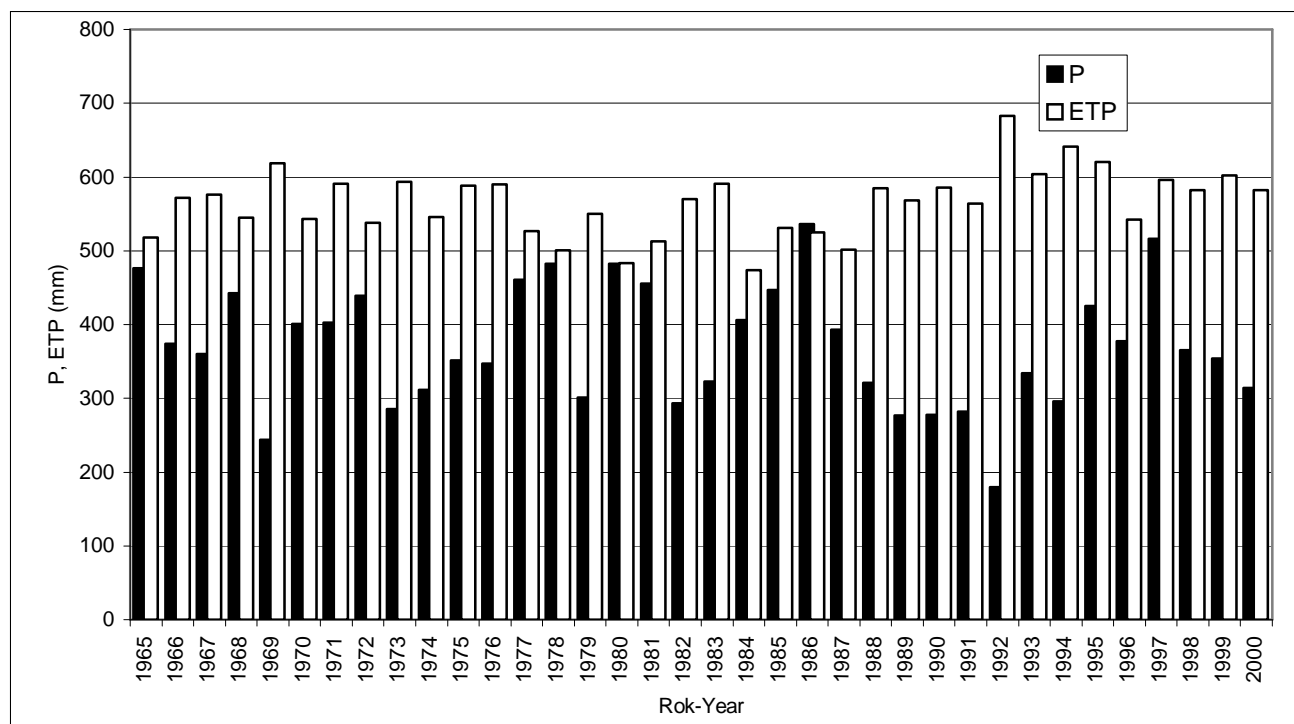
Średnie wieloletnie wartości klimatycznego bilansu wodnego (KBW) są we wszystkich dekadach półrocza letniego ujemne. Największe niedobory opadów w stosunku do ewapotranspiracji stwierdzono w sierpniu i czerwcu, zdecydowanie najmniejsze we wrześniu. Brak ekstremalnych wartości dekadowych KBW notowano w 10 latach, natomiast podczas jednego roku najwięcej ekstremów wystąpiło w 6 latach (po 3).

Jeśli za miarę zmienności badanych elementów (P, ETP, KBW) przyjmiemy wartość odchylenia standardowego, to z tabeli 1 widać, że najmniejsze różnice pomiędzy sumami najniższymi i najwyższymi w poszczególnych latach wystąpiły w przypadku ewapotranspiracji potencjalnej, następnie opadów, a wyraźnie największe w przypadku klimatycznych bilansów wodnych. Spostrzeżenie to dotyczy wszystkich rozpatrywanych przedziałów czasowych (dekada, miesiąc, półrocze).

Na rysunkach 1-6 przedstawiono przebieg analizowanych czynników meteorologicznych w kolejnych latach okresu 1965-2000 dla półrocza letniego i dwóch wybranych miesięcy: sierpnia i maja. Z wyjątkiem jednego roku (1986) półroczne sumy ewapotranspiracji potencjalnej przewyższały sumy opadów w analogicznym okresie (rys.1). W tym roku sumy opadów były najwyższe i wynosiły 536,2 mm (opady półroczne powyżej 500 mm notowano również w roku 1997), natomiast najniższe opady stwierdzono w roku 1992 (197,6 mm) i była to jedyna wartość poniżej 200 mm w całym 36-leciu. Najwyższe półroczne sumy ewapotranspiracji potencjalnej stwierdzono w roku 1992 (682,3 mm). Był to rok, w którym notowano maksymalne sumy w trzech miesiącach sezonu wegetacyjnego i jeden z sześciu, w których ETP przekraczało 600 mm. Najniższą sumę ewapotranspiracji stwierdzono w roku 1987 (415,1 mm). Sumy ETP nie przekraczające 500 mm wystąpiły ponadto w dwóch innych latach (rys. 1).

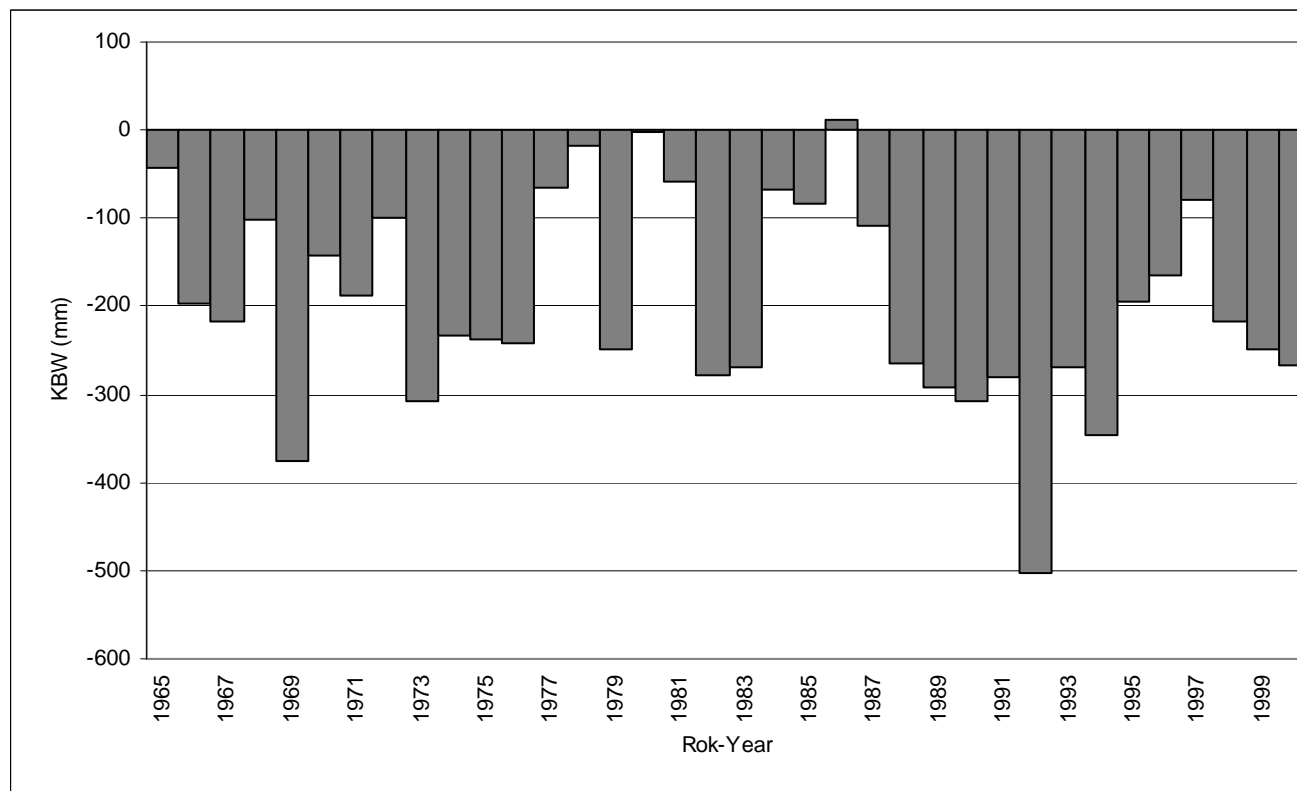
Podczas całego rozpatrywanego wielolecia, jedynie w roku 1986 półroczne sumy klimatycznego bilansu wodnego były dodatnie i wynosiły 8,0 mm (rys. 2). Najniższą wartość KBW odnotowano w roku 1992 (-484,7 mm), w którym to roku wystąpiły jednocześnie ekstremalne półroczne sumy opadów (P) i ewapotranspiracji potencjalnej (ETP). Następną ekstremalną wartość ujemną była wyższa o ponad 100 mm (-374,9 mm) i wystąpiła w półroczu letnim roku 1969.

Dla ilustracji zmienności miesięcznych sum P, ETP i KBW wybrano sierpień i maj, gdyż w tych miesiącach wyznaczone równania trendu liniowego były najbardziej istotne. Sumy opadów sierpnia były wyższe od sum ewapotranspiracji w 5 spośród 36 analizowanych miesięcy (rys. 3). Zdecydowanie najwyższe opady

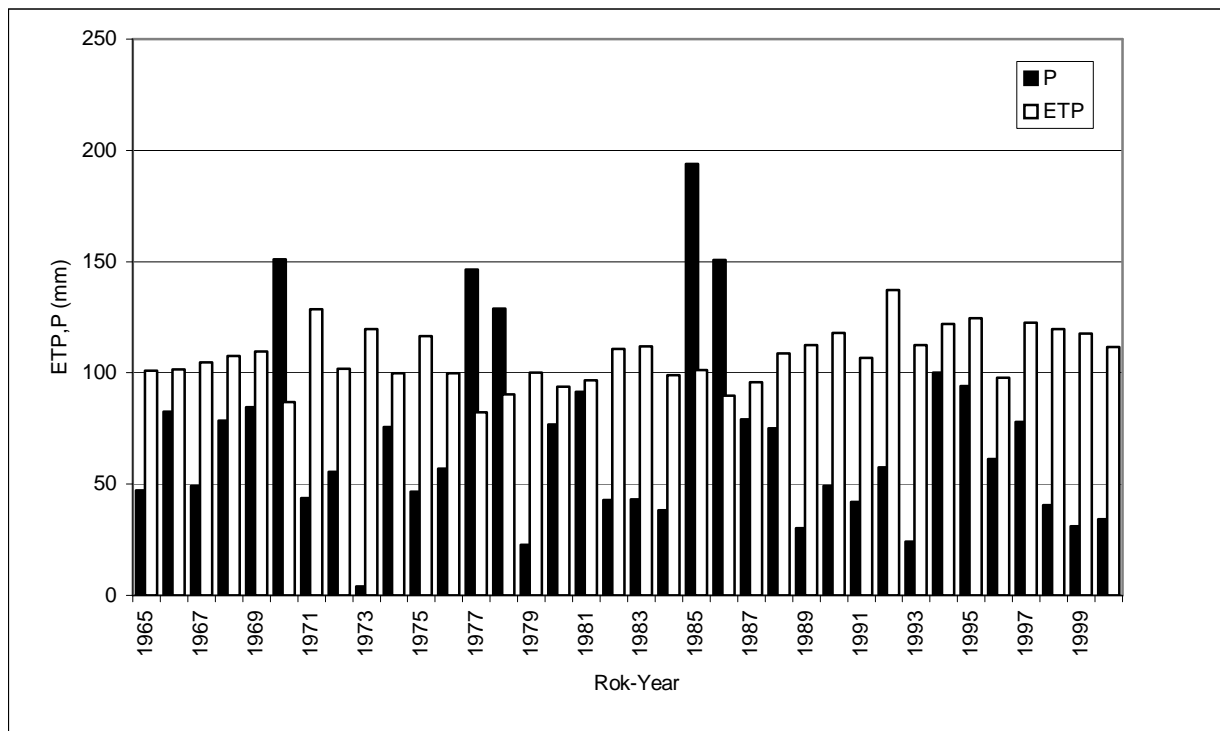


Rys. 1. Półroczne (IV-IX) sumy opadów atmosferycznych (P) i ewapotranspiracji potencjalnej (ETP) w okresie 1965-2000 (mm)

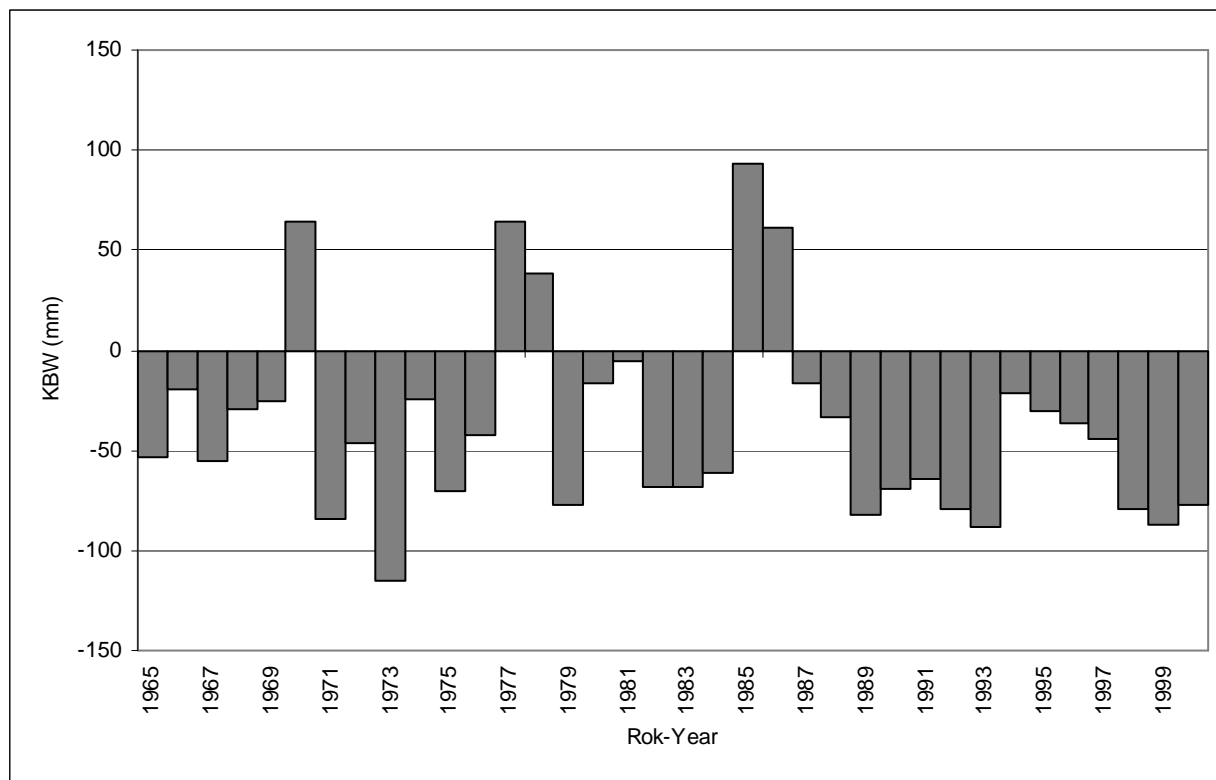
Fig. 1. Half-year (IV-IX) sums of precipitation (P) and potential evapotranspiration (ETP) during the period 1965-2000 (mm)



Rys. 2. Półroczne (IV-IX) sumy klimatycznych bilansów wodnych w okresie 1965-2000 (mm)
Fig. 2. Half-year (IV-IX) sums of climatic water balance during the period 1965-2000 (mm)

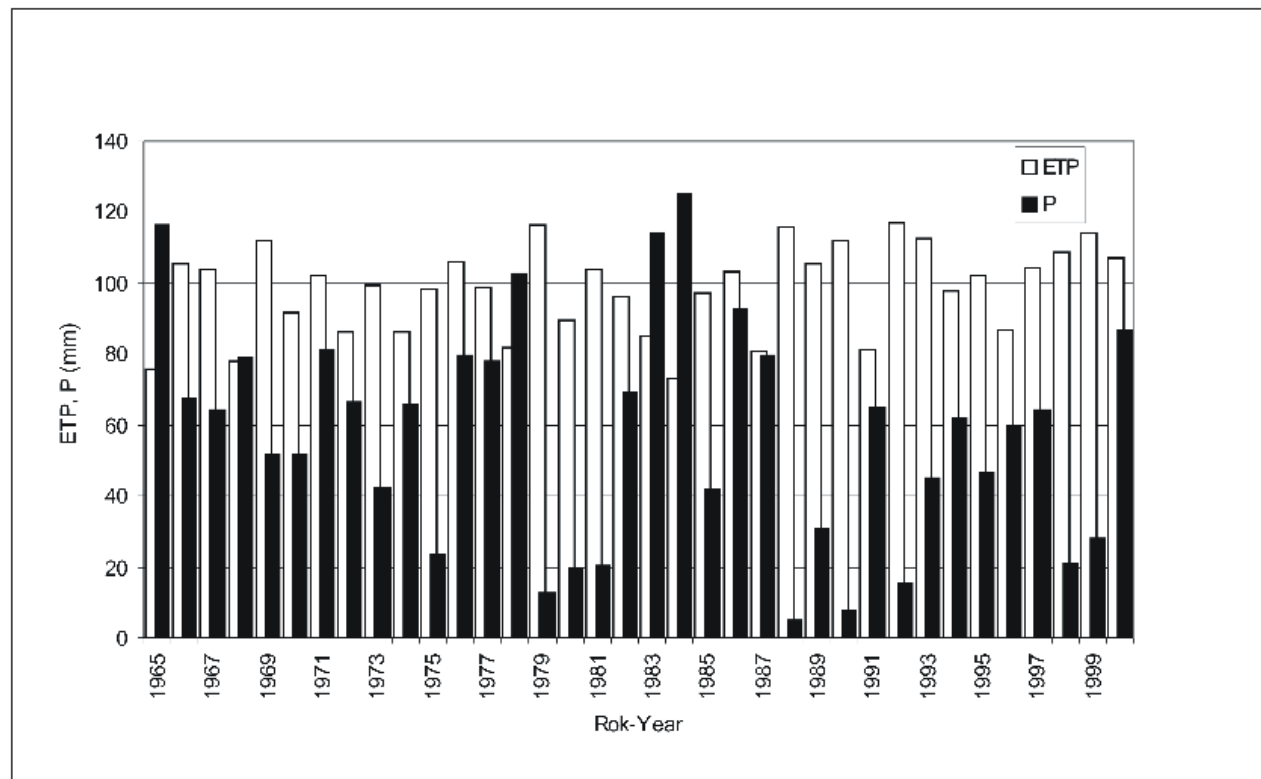


Rys. 3. Miesięczne sumy opadów atmosferycznych (P) i ewapotranspiracji potencjalnej (ETP) w sierpniu w okresie 1965-2000 (mm)
Fig. 3. Monthly sums of precipitation (P) and potential evapotranspiration (ETP) in August during the period 1965-2000 (mm)

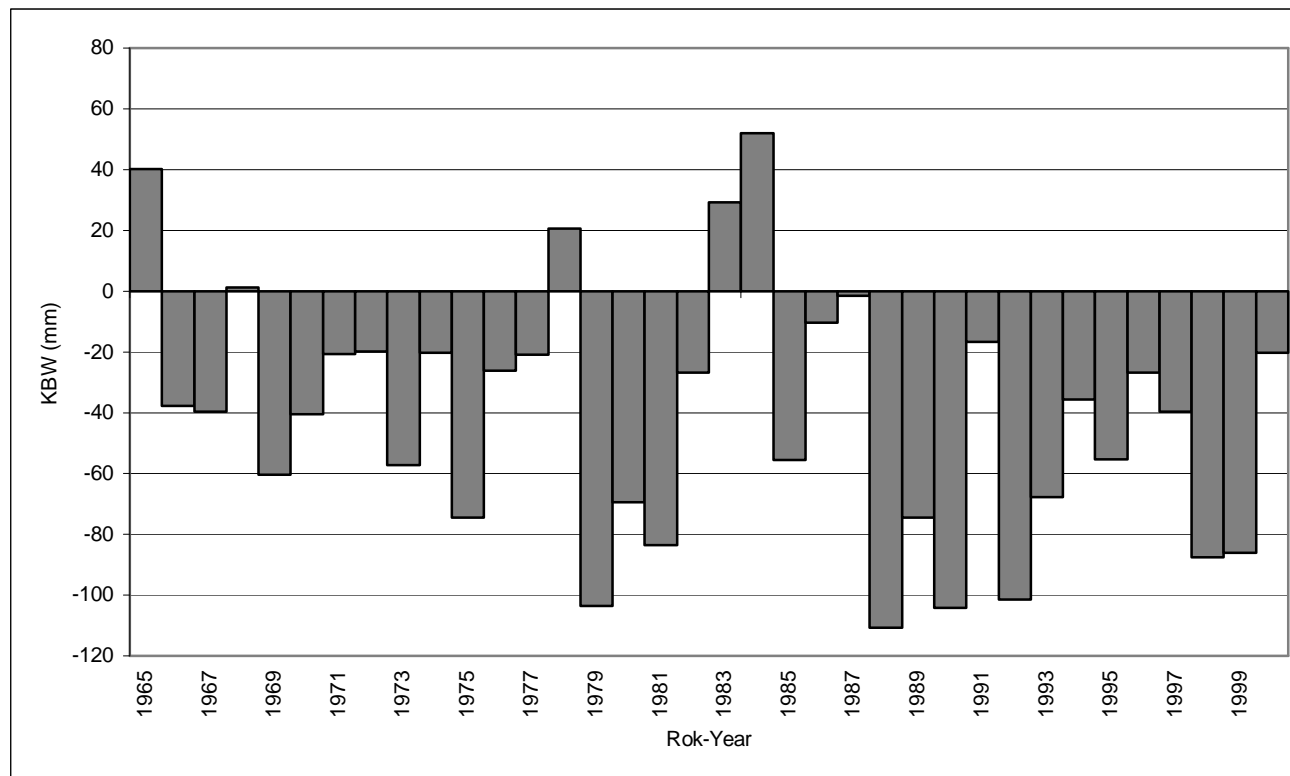


Rys. 4. Miesięczne sumy klimatycznych bilansów wodnych w sierpniu w okresie 1965-2000 (mm)

Fig. 4. Monthly sums of climatic water balance in August in the period 1965-2000 (mm)



Rys. 5. Miesięczne sumy opadów atmosferycznych (P) i ewapotranspiracji potencjalnej (ETP) w maju w okresie 1965-2000 (mm)
Fig. 5. Monthly sums of precipitation (P) and potential evapotranspiration (ETP) in May during the period 1965-2000 (mm)



Rys. 6. Miesięczne sumy klimatycznych bilansów wodnych w maju w okresie 1965-2000 (mm)
Fig. 6. Monthly sums of climatic water balance in May in the period 1965-2000 (mm)

zmierzono w roku 1985 (194,0 mm), a najniższe w 1973 (4,1 mm). Wartości ETP były mniej zróżnicowane i zawierały się w przedziale od 87,0 w roku 1970 do 137,1 mm w roku 1992. Ekstremalne wartości klimatycznych bilansów wodnych w tym miesiącu (rys. 4) wystąpiły w latach o najwyższych i najniższych opadach. Najwyższą wartość dodatnią stwierdzono w roku 1985 (92,7 mm), natomiast najniższą w roku 1973 (-115,6 mm).

W maju – podobnie jak w sierpniu – w kolejnych latach okresu 1965-2000 miesięczne sumy ewapotranspiracji potencjalnej wyraźnie przewyższały sumy opadów (rys. 5). Jedynie w pięciu latach relacje między tymi parametrami były odwrotne, przy czym najwyższa przewaga P nad ETP wystąpiła w latach 1984 i 1965. Najwyższe opady w maju zmierzono w roku 1984 (125,1 mm), natomiast maksymalną ewapotranspirację wynoszącą 116,9 mm stwierdzono w roku 1992.

Dodatnie sumy klimatycznego bilansu wodnego wystąpiły w pięciu latach z tym, że w roku 1968 było to jedynie 1,4 mm (rys. 6). Zdecydowanie więcej było lat z dużymi wartościami ujemnymi. W 4 latach (1979, 1988, 1990 i 1992) klimatyczne bilanse wodne były niższe od -100 mm.

Sugerowane w ostatnich latach przez wielu badaczy tendencje zmian klimatu w skali globalnej i regionalnej, skłoniły autorów do podjęcia próby sprawdzenia tej hipotezy w przypadku posiadanej serii pomiarowej P, ETP i KBW. Ostatecznie – dla celów niniejszej pracy – wyznaczono i przeanalizowano równania trendów miesięcznych i półrocznych sum opadów (P) i ewapotranspiracji potencjalnej (ETP). Zrezygnowano z równań dla klimatycznego bilansu wodnego (KBW), gdyż jako różnica pomiędzy P i ETP, wielkość ta nie wnosi nowych wartości jakościowych. Wyznaczone dla kolejnych miesięcy i całego półrocza letniego równania trendów opadów atmosferycznych (Y_P) i ewapotranspiracji potencjalnej (Y_{ETP}) mają następującą postać:

$$\begin{array}{ll} \text{Kwiecień:} & Y_P = 0,30 X + 43,7; \quad Y_{ETP} = 0,10X + 67,4, \\ \text{Maj:} & Y_P = -0,62 X + 68,9; \quad Y_{ETP} = 0,30X + 92,5, \\ \text{Czerwiec:} & Y_P = -0,50X + 81,9; \quad Y_{ETP} = -0,01X + 107,3, \\ \text{Lipiec:} & Y_P = 0,48X + 76,6; \quad Y_{ETP} = 0,40X + 11,4, \\ \text{Sierpień:} & Y_P = -0,82 X + 87,8; \quad Y_{ETP} = 0,50X + 97,7, \\ \text{Wrzesień:} & Y_P = 0,30X + 39,1; \quad Y_{ETP} = -0,10X + 66,8, \\ \text{Półrocze letnie:} & Y_P = -1,22X + 393,2; \quad Y_{ETP} = 1,22X + 542,2. \end{array}$$

Z powyższych równań widać, że w 3 miesiącach występuje ujemny trend opadów atmosferycznych (najbardziej istotny w maju i sierpniu), natomiast w pozostałych trend dodatni. W przypadku ewapotranspiracji potencjalnej jedynie w czerwcu i wrześniu uzyskano nieistotne trendy ujemne, w pozostałych 4 miesiącach trendy dodatnie (najbardziej istotne w sierpniu, lipcu i maju). Statystycznie istotne oka-

zały się także równania trendów liniowych dla całego półrocza letniego (IV-IX) w wieloleciu 1965-2000. Biorąc pod uwagę uzyskane równania można stwierdzić, że malejącym opadom w tym okresie odpowiadają rosnące wartości ewapotranspiracji potencjalnej.

WNIOSKI

1. Spośród analizowanych czynników meteorologicznych, we wszystkich rozpatrywanych przedziałach czasowych, najmniejsza zmienność cechuje sumy ewapotranspiracji potencjalnej wyznaczonej metodą Penmana, następnie sumy opadów i zdecydowanie największa klimatyczny bilans wodny.

2. Istotne statystycznie liniowe równania trendu wskazują na tendencję malejącą opadów atmosferycznych w sierpniu, maju i czerwcu, natomiast rosnącą w pozostałych miesiącach. Istotny wzrost ewapotranspiracji potencjalnej stwierdzono w sierpniu, lipcu i maju, natomiast tendencję spadkową można zauważyć we wrześniu (w czerwcu równania nie były statystycznie istotne).

3. Statystycznie istotne równania trendów liniowych dla półrocza ciepłego (IV-IX) dla opadów atmosferycznych i ewapotranspiracji potencjalnej w badanym wieloleciu wskazują, że malejącym opadom odpowiadają rosnące sumy ewapotranspiracji potencjalnej.

PIŚMIENNICTWO

- Bac S., 1970. Badania nad współzależnością parowania z wolnej powierzchni wodnej, parowania terenowego i ewapotranspiracji potencjalnej. *Prace i Studia Kom. Gosp. Wodn. i Sur. PAN*, X, 287-366.
- Bąk B., 2006. Wskaźnik standaryzowanego opadu *SDI* jako kryterium oceny suszy rolniczej na glebach o różnej retencji użytecznej. *Rozpr. dokt. (maszynopis)*, IMUZ Bydgoszcz.
- Bryś K., Bryś T., 2004. Dynamika wieloletnich zmian parowania wskaźnikowego oraz klimatycznych bilansów wodnych we Wrocławiu i jej uwarunkowania. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Monografie XXXVIII*, 503, 145-160.
- Gutry-Korycka M., 1978. Parowanie terenowe w Polsce (1931-1960). *Przegl. Geof.*, XXIII (XXXI), 4, 295-299.
- Jaworski J., 1968. Zróżnicowanie przestrzenne średniego rocznego parowania terenowego w Polsce. *Prace PIHM*, 95, 15-28.
- Kaszewski B.M., Siwek K., 2004. Przebieg parowania potencjalnego w Lublinie. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Monografie XXXVIII*, 503, 133-143.
- Kędziora A., 1999. *Podstawy agrometeorologii*. PWRiL, Poznań, 364 ss.
- Kowanetz L., 2004. Zakres zmienności wskaźników parowania w zachodniej części Karpat Polskich. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Monografie XXXVIII*, 503, 63-77
- Michna E., 1964. Parowanie dzienne i nocne w Przemysłu. *Przegl. Geof.*, IX(XVII), 3-4, 72-78.

- Musiał E., Rojek M., 1990a. Ocena zależności pomiędzy dobowymi sumami ewapotranspiracji potencjalnej wg Penmana i parowania z wolnej powierzchni wody. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Mel. XXXIV, 189, 165-172.
- Musiał E., Rojek M., 1990b. Badanie zależności pomiędzy dobowymi sumami parowania z wolnej powierzchni wodnej i ewapotranspiracji potencjalnej. Zesz. Nauk. AR im. H. Kołłątaja w Krakowie, sesja nauk. 27, 246, 171-176.
- Olechnowicz-Bobrowska B., 1978. Parowanie potencjalne w okresie wegetacyjnym w Polsce. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Rozpr. Hab. 67, 173 ss.
- Penman H.I., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Royal Soc., 193, 120-146.
- Roguski W., Sarnacka S., Drupka S., 1988. Instrukcja wyznaczania potrzeb i niedoborów wodnych w produkcji roślin uprawnych. Mat. Instr., 66, IMUZ Falenty, 38 ss.
- Rojek M., Wiercioch T., 1995. Zmienność czasowa i przestrzenna parowania wskaźnikowego, ewapotranspiracji aktualnej i niedoborów opadowych w Polsce nizinnej w okresie 1951-1990. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Monografie VI, 268, 51 ss.
- Sarnacka S., Brzeska J., Świerczyńska H., 1983. Wybrane metody wyznaczania ewapotranspiracji potencjalnej. Mat. Bad. IMGW, seria: Gosp. Wodna i Ochr. Wód, Warszawa.
- Schmuck A., 1965. Parowanie w zlewni górnego Bobru i na Odrze pod Wrocławiem. Przegl. Geof., X(XVIII), 1, 19-31.

POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION AND PRECIPITATION IN WROCLAW-SWOJEC DURING THE PERIOD 1965-2000

Elżbieta Musiał¹, Marian S. Rojek²

¹Department of Mathematics, Wrocław University of Environmental and Life Sciences
ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław
e-mail: musial@ozi.ar.wroc.pl

²Institute of Environmental Development and Environmental Protection,
Wrocław University of Environmental and Life Sciences
pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław

Abstract. The study presents analysis of changes in ten-day, month and half-year sums of precipitation (P), potential evapotranspiration (PET) and climatic water balance (CWB) defined as a difference between P and PET. Calculations for all ten-day periods during the summer half-year (IV-IX) were based on the measurements from the Wrocław-Swojec Agro- and Hydrometeorology Observatory in the period 1965-2000. Sums of potential evapotranspiration were calculated according to the original version of Penman's equation. Mean and extreme values, as well as standard deviation, were analysed in all periods under consideration. Linear trend equations were determined. They point at increasing tendency in potential evapotranspiration sums and decreasing tendency in precipitation sums during the analysed 36-year period. The biggest changes in time were observed in the case of climatic water balance, then in precipitation. The smallest change was seen in the case of potential evapotranspiration.

Key words: potential evapotranspiration, climatic water balance, precipitation, linear trends