

Zależności między parowaniem z ewaporometru Pan a warunkami meteorologicznymi

Abstract

Relations between pan evaporation and meteorological conditions. Measurements of evaporation, using pan evaporimeter, bring out various difficulties. For this reason empirical formulas are of great practical use, allowing to calculate evaporation from pan evaporimeter, basing on meteorological elements. Such formulas can be prepared for selected climatic conditions, using the regression analysis method, and the applicability of the existing formulas used to calculate evaporation under given conditions can be tested. Regression equations were presented in this work, allowing to calculate evaporation from pan evaporimeter basing on the standard meteorological measurement, as well as regression equations in a case when air temperature is introduced as a substitution parameter instead of solar radiation, or the values of potential evapotranspiration calculated using the Penman formula are the independent variable in the equation.

Key words: evaporation, pan evaporimeter.

Wstęp

Ewaporometr pan Class A jest od wielu lat używany w skali światowej do pomiarów parowania z wolnej powierzchni wody. W Polsce i w innych byłych krajach socjalistycznych ewaporometr

pan był mało rozpowszechniony, gdyż preferowano metody radzieckie wyznaczania parowania i ewapotranspiracji. Wychodząc z założenia, że istnieje związek między parowaniem z wolnej powierzchni wody i ewapotranspiracją, Doorenbos i Pruitt (1977) proponują zastosować ewaporometr pan z odpowiednimi współczynnikami (jako jedną z metod wzorcowych) do wyznaczania ewapotranspiracji potencjalnej w celu oceny zapotrzebowania roślin na wodę do nawodnień. Należy zwrócić uwagę na to, że związek między parowaniem z ewaporometru pan E_p i ewapotranspiracją ET_p jest złożony. Jak podaje Penman (1956), stosunek wartości ewapotranspiracji niskiego, nawadnianego podsiąkowo trawnika do parowania z wolnej powierzchni wody w SE Anglii wynosi w miesiącach V–VIII 0,8, a w miesiącach wiosennych (III, IV) i jesiennych (IX, X) wynosi 0,7, a zimą (XI–II) 0,6. Bardzo zbliżone wyniki dla okresu IV–IX uzyskali Łykowski i Pawłat (1990). W tym wypadku porównano ewapotranspirację trawnika nawadnianego podsiąkowo z ewapotranspiracją obliczoną wzorem Penmana w modyfikacji van Bavela (1966).

Postać równań regresji opisujących związek między parowaniem z ewaporometru pan i warunkami meteorologicznymi oraz ewapotranspiracją potencjalną obliczoną wzorem Penmana jest różna w różnych warunkach klimatycznych (Cahoon, Costello, Ferguson 1991).

Należy także zaznaczyć, że poszczególne elementy meteorologiczne są ze sobą skorelowane w różnym stopniu, zależnie od warunków klimatycznych. Dlatego konieczne są badania szczegółowe nad związkami zachodzącymi między parowaniem z ewaporometru pan a warunkami meteorologicznymi w skali regionalnej. Umożliwi to zarówno łatwe uzyskanie informacji o wielkości parowania dla większej ilości punktów na podstawie pomiarów meteorologicznych standardowych (w skali lokalnej), a także pozwoli na uproszczenie równań regresji, tak ażeby obliczenia parowania można było wykonywać posługując się danymi meteorologicznymi łatwiej dostępnymi (np. zamiast trudno dostępnych danych o promieniowaniu słonecznym, wprowadzić do równania temperaturę powietrza). Wyżej omówione zagadnienia były przedmiotem opracowań, których wyniki zostały zamieszczone w niniejszej pracy. Badania te dotyczą warunków klimatycznych środkowej części Polski. Dane potrzebne do obliczeń pochodzą ze stacji meteorologicznej Warszawa-Ursynów, położonej w terenie płaskim, otwartym, z rzadką zabudową niską.

Materiał i metody

Stacja meteorologiczna SGGW Warszawa-Ursynów (52°09'N, 21°04'E,

102,6 m n.p.m.), na której jest zainstalowany ewaporometr pan, jest położona w terenie otwartym, płaskim, o rzadkiej zabudowie mieszkaniowej niskiej. Odległość zwartej osiedla mieszkaniowego Ursynów (o zróżnicowanej wysokości) od stacji meteorologicznej wynosi 500 m w kierunku SE i 900 m w kierunku S. W pozostałych sektorach stron świata zabudowa mieszkaniowa jest położona w odległości ponad 2 km od stacji meteorologicznej. Można przyjąć, iż z punktu widzenia badania związków między parowaniem z ewaporometru pan a warunkami meteorologicznymi uzyskane wyniki są reprezentatywne dla środkowej części Polski.

Na stacji meteorologicznej SGGW w Warszawie-Ursynowie w kwietniu 1991 r., zainstalowano ewaporometr pan Class A o średnicy 1,2 m, głębokości 0,25 m. Pomiary parowania wykonywane są tylko w półroczu ciepłym, od 1 IV do 15 X, w terminach 6.00, 12.00, 18.00 GMT. W pozostałej części roku pomiary są niemożliwe ze względu na występującą ujemną temperaturę. Przy instalacji zestawu przyrządów kierowano się oficjalną instrukcją National Weather Service (1989). Wartości opadu atmosferycznego pochodzą z deszczomierza zainstalowanego według standardu WMO; powierzchnia wlotowa na poziomie 0 m. Z danych pomiarowych parowania usunięto wartości powyżej 9,5 mm, gdyż w warunkach klimatycznych Polski są one zbyt wysokie i można je uznać za błędne. Pomiary temperatury i wilgotności powietrza wykonywane są w klatce meteorologicznej standardowej (2 m n.p.g.), prędkość wiatru anemometrem czasowym

rejestrującym, a promieniowanie słoneczne całkowite solarygrafem typu Molla-Gorczyńskiego.

Obliczenia związków między dobową wielkością parowania z ewaporometru pan (E_p) a warunkami meteorologicznymi wykonano w trzech wersjach. W wersji I wprowadzono do obliczeń jako zmienne niezależne: sumy dobowe promieniowania słonecznego całkowitego oraz średnie dobowe wartości temperatury powietrza, niedosytu wilgotności powietrza i prędkości wiatru. Ten ostatni element meteorologiczny wprowadzono do obliczeń bez transformacji danych oraz z transformacją pierwiastkową i logarymiczną. Następnie, posługując się metodą analizy regresji wielokrotnej krokowej (Draper, Smith 1973), uzyskano modele równań oraz współczynniki regresji dla tych zmiennych niezależnych (parametrów meteorologicznych), które weszły do równania na poziomie istotności 5% (tab. 1). Ze względu na znaczne zróżnicowanie warunków meteorologicznych występujących w poszczególnych miesiącach od kwietnia do września (charakterystyczne dla klimatu Polski) równania regresji obliczono oddzielnie dla każdego miesiąca, a także dla całego okresu IV–IX.

W wersji II w modelach równań zamieszczonych w tabeli 1 wprowadzono zmianę mającą na celu sprawdzenie, jak zmieni się jakość modelu równania po usunięciu spośród zmiennych niezależnych promieniowania słonecznego i zastąpieniu go temperaturą powietrza. Wartości temperatury są znacznie łatwiej dostępne, gdyż pomiar ten wchodzi do podstawowego standardu pomiarowego na

wszystkich stacjach meteorologicznych. Jeżeli w modelu równania (tab. 1) występowało zarówno promieniowanie słoneczne, jak też temperatura powietrza przy obliczaniu współczynników regresji usuwano z równania parametr promieniowania słonecznego. Ostateczne postacie równań uzyskane w wersji II zawiera tabela 2.

W wersji III obliczenia E_p wykonano posługując się równaniem regresji prostoliniowej, a zmienną niezależną jest ewapotranspiracja potencjalna ET_p obliczona równaniem Penmana w postaci przedstawionej przez Doorenbosa i Pruitta (1977). Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 3.

Wyniki

W tabeli 1 zamieszczono równania regresji opisujące związek dobowych wartości parowania z ewaporometru pan a elementami meteorologicznymi w warunkach klimatycznych Polski. Z równań regresji zamieszczonych w tej tabeli wynika, że zaznacza się wyraźnie sezonowość w charakterze zależności parowania z ewaporometru pan od warunków meteorologicznych. Najbardziej złożona forma równania dotyczyła lipca, najprostsza kwietnia. We wszystkich miesiącach, jak wynika z równania, występuje niedosyt wilgotności powietrza, w miesiącach od V–VIII promieniowanie słoneczne.

Złożoną rolę w parowaniu z ewaporometru pan odgrywa wiatr. Wprawdzie element ten wchodzi do wszystkich równań (oprócz kwietnia), ale przeważnie w

TABELA 1. Zależność parowania z ewaporometru pan od warunków meteorologicznych.

Mie- siąc	Postać równania	R^2	y_p (mm)	SD (mm)	CV (%)	SE (mm)	n
IV	$y = 0,6976 + 0,3397x_2$	0,38	1,89	1,04	34	0,83	28
V	$y = -1,544151 + 0,22456x_2 + 0,001597x_3 +$ $+ 1,13806 \lg x_4$	0,58	3,59	1,90	39	1,40	65
VI	$y = -1,6275 + 0,2076x_2 + 0,001276x_3 +$ $+ 0,7125x_4$	0,56	3,83	2,03	40	1,37	88
VII	$y = -3,1267 + 0,2016x_1 + 0,1911x_2 +$ $+ 0,000729x_3 + 1,0274 \lg x_4$	0,54	4,26	1,98	34	1,37	87
VIII	$y = 0,1983 + 0,2128x_2 + 0,000883x_3 +$ $+ 0,9368 \lg x_4$	0,73	3,96	1,53	33	0,80	89
IX	$y = 0,0634 + 0,1982x_2 + 0,7666x_4$	0,33	2,12	1,09	29	0,91	54
IV–IX	$y = -1,2662 + 0,0669x_1 + 0,1802x_2 +$ $+ 0,00109x_3 + 1,0457 \lg x_4$	0,62	3,30	1,90	39	1,17	410

x_1 – temperatura powietrza ($^{\circ}\text{C}$), x_2 – niedosyt wilgotności powietrza (hPa), x_3 – promieniowanie słoneczne całkowite ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 10^{-2}$), x_4 – prędkość wiatru (m/s), R^2 – współczynnik determinacji (wszystkie wartości przekroczyły poziom istotności 1 %), SD – średnie wartości parowania zmierzonego ewaporometrem pan i odchylenia standardowe, y_p , y – parowanie z ewaporometru pan obliczone za pomocą równań regresji, CV – wskaźnik zmienności y , SE – błąd równania regresji, n – liczba danych.

TABELA 2. Zależność parowania z ewaporometru pan od warunków meteorologicznych bez uwzględnienia promieniowania słonecznego, Warszawa-Ursynów 1991–1993

Miesiąc	Postać równania	R^2	CV (%)	SE (mm)
IV	$y = 0,6976 + 0,3397x_2$	0,62	34	0,83
V	$y = -0,8269 + 0,11037x_1 + 0,3207x_2 + 1,5359 \lg x_4$	0,66	34	1,42
VI	$y = 0,2883 - 0,0483x_1 + 0,4331x_2 + 0,6589x_4$	0,71	38	1,46
VII	$y = -2,4175 + 0,2125x_1 + 0,2680x_2 + 0,9881 \lg x_4$	0,72	33	1,40
VIII	$y = 1,5283 - 0,0067x_1 + 0,2584x_2 + 0,7598 \lg x_4$	0,83	40	0,87
IX	$y = 0,0634 + 0,1982x_2 + 0,7666x_4$	0,57	29	0,91
IV–IX	$y = 0,0219 + 0,0586x_1 + 0,2965x_2 + 1,0777 \lg x_4$	0,73	39	1,30

Objaśnienia jak w tabeli 1.

TABELA 3. Zależność między parowaniem z ewaporometru pan i ewapotranspiracją obliczoną wzorem Penmana. Warszawa-Ursynów 1991–1993

Miesiąc	Postać równania	R^2	CV (%)	SE (mm)
IV	$y = -0,5690 + 1,2764x_5$	0,69	38	0,76
V	$y = -1,6106 + 1,6457x_5$	0,73	38	1,44
VI	$y = -1,36614 + 1,54419x_5$	0,76	39	1,37
VII	$y = -1,608 + 1,3080x_5$	0,68	32	1,45
VIII	$y = -0,6024 + 1,3933x_5$	0,78	30	0,96
IX	$y = 0,4533 + 1,0078x_5$	0,49	25	0,96
IV–IX	$y = -0,2734 + 1,2031x_5$	0,76	40	1,24

x_5 – E_{tp} obliczone wzorem Penmana (mm).

Wszystkie współczynniki determinacji osiągnęły poziom istotności powyżej 1%.

różnej transformacji. Na uwagę zasługują także stosunkowo wysokie współczynniki determinacji (R^2), chociaż są one wyraźnie zróżnicowane w poszczególnych miesiącach. Błędy równań regresji (SE) są stosunkowo niskie, jeżeli wziąć pod uwagę znaczną zmienność dobowych wartości parowania przekraczającą 50 %, w przypadku wartości zmierzonych ewaporometrem pan, i 30 % w przypadku wartości obliczonych wzorami. Znaczna zmienność elementów meteorologicznych jest charakterystyczna dla klimatu Polski.

W tabeli 2 zamieszczone zostały równania regresji dla okresów, jak w tabeli 1, ale wartości promieniowania słonecznego zostały zastąpione w maju, czerwcu i sierpniu temperaturą powietrza, a w lipcu, gdy temperatura powietrza i promieniowanie słoneczne wchodzi do równania regresji w wersji I, parametr promieniowanie słoneczne (x_3) został usunięty. Współczynniki determinacji zmniejszyły się znacznie jedynie dla maja (z 0,61 do 0,32) i okresu IV–IX (z 0,62 na 0,54). W przypadku więc, gdy można zrezygnować z większej dokładności obliczeń E_p , można dokonywać tych obliczeń, postu-

gując się temperaturą powietrza, gdyż dane te są znacznie łatwiej dostępne aniżeli dane o promieniowaniu słonecznym.

W tabeli 3 przedstawione zostało porównanie E_p z ewapotranspiracją E_{tp} obliczoną wzorem Penmana. Pomimo stosunkowo znacznej złożoności wzoru Penmana, w warunkach klimatycznych Polski lepsze wyniki obliczeń E_p uzyskuje się na podstawie metody I, zwłaszcza w niektórych miesiącach (VIII, IX). Równania dla kwietnia być może nie są w pełni reprezentatywne ze względu na mniejszą ilość danych.

Wnioski

W warunkach klimatycznych Polski najlepsze rezultaty obliczeń dobowych wartości parowania z ewaporometru pan dają równania regresji opisujące związki między E_p a elementami meteorologicznymi. Celowe jest posługiwanie się równaniami obliczonymi oddzielnie dla poszczególnych miesięcy okresu roku bez mrozu (IV–IX).

Możliwe jest posługiwanie się równaniami regresji, w których zamiast pro-

mieniowania słonecznego, parametr energetyczny środowiska wyraża się temperaturą powietrza z pomiarów standardowych (2 m n.p.g.). Wartości temperatury jest znacznie łatwiej uzyskać aniżeli promieniowanie słoneczne, co zapewnia możliwość dokonania obliczeń parowania w znacznie większej liczbie punktów. Pozwala to na lepsze uwzględnienie lokalnych warunków klimatycznych.

Porównanie wyników obliczeń parowania za pomocą równań w wersji I z wartościami obliczonymi wzorem Penmana wskazuje na to, że w warunkach klimatycznych Polski wartości parowania obliczone wzorem Penmana z zadowalającą dokładnością są porównywalne z wartościami E_p obliczonymi za pomocą równań w wersji I i II.

Uwzględniając fakt występowania znacznej zmienności warunków meteorologicznych w Polsce, uzyskane w niniejszej pracy wyniki obliczeń E_p kilkoma metodami należy uznać za dobre. Potwierdzają one także, że wzór Penmana daje dobre rezultaty przy obliczaniu parowania w różnych warunkach klimatycznych.

Literatura

- CAHOON J.E., COSTELLO T.A., FERGUSON J.A., 1991: *Estimating pan evaporation using limited meteorological observations*. Agric. For. Meteorol., 55; 191–212.
- DOORENBOS J., PRUITT W.O., 1977: *Guidelines for predicting crop water requirements*. Irrig. and Drain., paper 24; FAO Rome; 144 pp.
- DRAPER N., SMITH H., 1981: *Applied Regression Analysis* (second edition). New York, Wiley; 460 pp.
- ŁYKOWSKI B. PAWŁAT H., 1991: *Relationship between evapotranspiration calculated by the van Bavel's formula and measured in lysimeters. Zależność między ewapotranspiracją obliczoną wzorem van Bavela i zmierzoną za pomocą lizymetrów*. Warsaw Agric. Univ. ; 54–60.
- National Weather Service, 1989. Cooperative station observations, Handbook 2.
- PENMAN H.L., 1956. *Evaporation an introductory survey*. J. Agric. Sci. vol. 4; 1.
- Van BAVEL C.H.M. 1966: *Potential evaporation: the combination concept and its experimental verification*. Water Resour. Res. vol. 2; 3.

Adres autorów

B. Łykowski, T. Rozbicki
Katedra Rekultywacji Środowiska
Przyrodniczego SGGW
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166