

PORÓWNANIE I WERYFIKACJA MODELI EWAPOTRANSPIRACJI
RZECZYWISTEJ I POTENCJALNEJ Z ZASTOSOWANIEM POMIARU
TEMPERATURY RADIACYJNEJ ROŚLIN

P. Baranowski

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
20-290 Lublin 27, ul. Doświadczalna 4
e-mail: pbaranow@demeter.ipan.lublin.pl

Streszczenie. Celem pracy było porównanie i weryfikacja modeli wyliczania ewapotranspiracji aktualnej i potencjalnej z zastosowaniem pomiaru temperatury radiacyjnej roślin oraz oznaczenie stanu energetycznego wody w roślinie stosując wskaźnik stresu wodnego roślin CWSI. Weryfikacji poddano dwie odmiany metody określania ewapotranspiracji aktualnej bazującą na równaniu bilansu cieplnego, w której temperatura radiacyjna powierzchni roślin służy do wyznaczania strumienia ciepła jawnego, różniące się sposobem wyznaczania aerodynamicznego oporu na transport ciepła. Na podstawie badań lizymetrycznych poddano analizie wpływ stanu równowagi termodynamicznej atmosfery na dokładność szacowania strumienia ciepła jawnego oraz wykorzystanie godzinowych i dobowych wartości ewapotranspiracji aktualnej i potencjalnej do określania stresu wodnego roślin poprzez zastosowanie wskaźnika stresu wodnego roślin CWSI. Wyniki pracy potwierdziły przydatność zastosowania pomiaru temperatury radiacyjnej do określania ewapotranspiracji aktualnej i stresu wodnego roślin.

Słowa kluczowe: ewapotranspiracja rzeczywista, ewapotranspiracja potencjalna, termografia.

WSTĘP

Znajomość wartości ewapotranspiracji jest niezbędna do oceny intensywności procesów fizjologicznych, a także do oceny wykorzystywania zasobów wodnych. Intensywność ewapotranspiracji zależy głównie od panujących warunków meteorologicznych i dostępności wody glebowej dla systemu korzeniowego. Dlatego

dokładność oszacowania ewapotranspiracji zależy od uwzględnienia wielu parametrów fizycznych opisujących system gleba-roślina-atmosfera. Istnieje wiele fizycznych i fizyczno-fenomenologicznych modeli określenia ewapotranspiracji. W pracy założono, że zastosowanie pomiaru temperatury powierzchni roślin podwyższa dokładność oszacowania ewapotranspiracji, ponieważ sama roślina jest najlepszym sensorem procesów fizjologicznych w niej zachodzących [2,3].

Ewapotranspiracja jako proces energochłonny powoduje obniżanie temperatury roślin. Badania ukierunkowano na możliwość wykorzystania metody termografii do określenia wpływu dostępności wody glebowej dla systemu korzeniowego na intensywność ewapotranspiracji, a zatem na kształtowanie się temperatury liści.

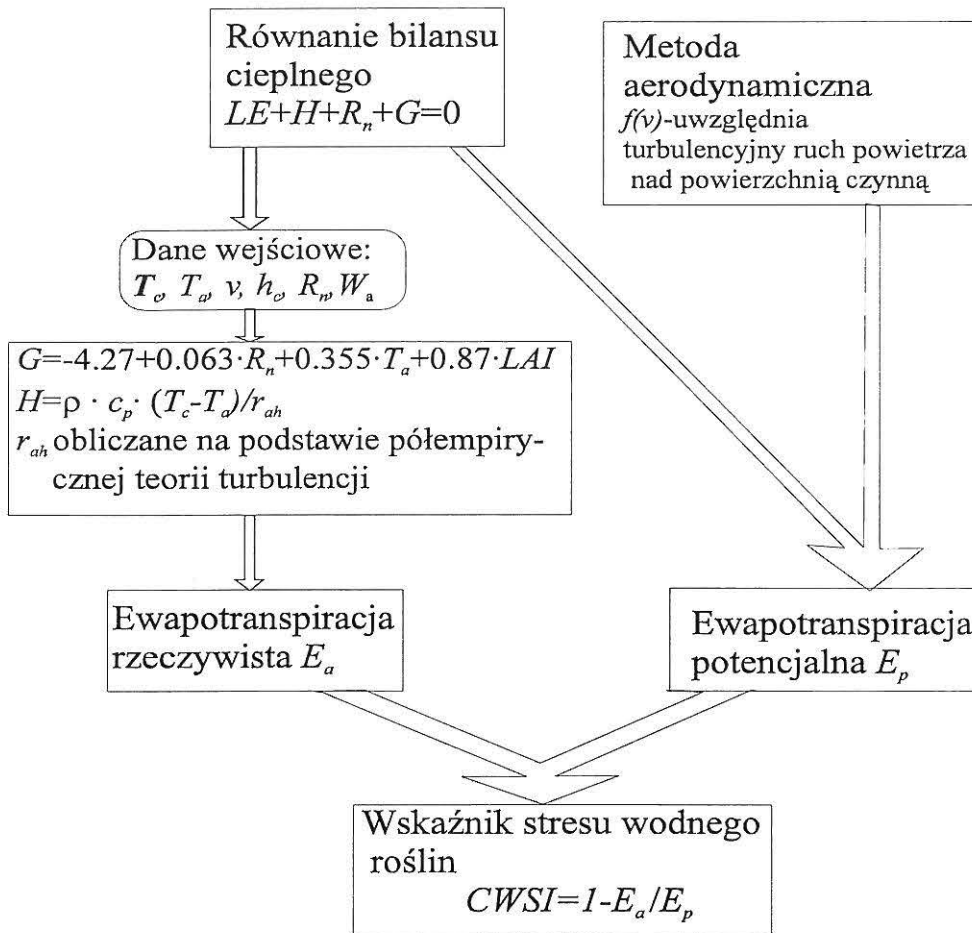
Hipoteza, że równania do oznaczania ewapotranspiracji zawierające temperaturę radiacyjną dają najdokładniejsze wyniki, została zweryfikowana eksperymentalnie.

MATERIAŁ I METODY

Analiza metod określania ewapotranspiracji aktualnej i potencjalnej pozwoliła wyselekcjonować metody, które zostały następnie poddane weryfikacji [3].

W obliczeniach godzinowych i dobowych wartości ewapotranspiracji aktualnej wykorzystano model oparty o równanie bilansu cieplnego. W równaniu tym niewiadomą był strumień ciepła utajonego parowania, a pozostałe składniki obliczane były na podstawie danych pomiarowych (Rys 1). Temperatura radiacyjna powierzchni roślin służy w tym modelu do wyznaczenia strumienia ciepła jawnego. Wybrana metoda wyliczania ewapotranspiracji aktualnej wymaga stosunkowo niewielkiej liczby danych wejściowych, dostępnych ze standardowych stacji meteorologicznych, z wyjątkiem temperatury parującej powierzchni. Parametr ten, nawet dla dużych powierzchni, można uzyskiwać z coraz to powszechniej dostępnych i lepszych jakościowo materiałów teledetekcyjnych z różnych pułapów.

W przeprowadzonych badaniach posługiwano się dwoma sposobami określania turbulencyjnego dyfuzyjnego oporu aerodynamicznego. Pierwszy z nich wykorzystywał półempiryczne równania transportu masy i energii. W obliczeniach uwzględniano stan równowagi termodynamicznej przygruntowej warstwy powietrza, mierząc chwilowe wartości różnicy temperatury powietrza i roślin i w zależności od znaku tej różnicy stosowano odpowiednie równania. W przypadku równowagi chwiejnej zastosowano metodę iteracyjną rozwiązania równania opisującego opór aerodynamiczny.



Rys. 1. Schemat określania ewapotranspiracji rzeczywistej E_a , potencjalnej E_p , oraz wskaźnika stresu wodnego $CWSI$.

Fig. 1. A scheme of determination of actual evapotranspiration E_a , potential evapotranspiration E_p , and crop water stress index $CWSI$.

Wielkości fizyczne występujące w schemacie na Rys. 1 to: LE - ciepło utajone, H - ciepło jawne, R_n - saldo promieniowania, G - strumień ciepła w glebie, T_c - temperatura roślin, T_a - temperatura powietrza, v - prędkość wiatru, h_c - wysokość roślin, W_a - wilgotność względna powietrza, r_{ah} - aerodynamiczny opór

transportu ciepła, ρ - gęstość powietrza, c_p - ciepło właściwe powietrza, LAI - wskaźnik powierzchni liści, $f(v)$ - funkcja prędkości wiatru.

Drugim sposobem była metoda Jacksona i współaut. [4], w której dla określenia warunków stabilności atmosfery stosuje się liczbę Richardsona. Pomimo, że metoda ta zawiera współczynniki empiryczne, dawała ona dobre wyniki w warunkach Stanów Zjednoczonych i dużą zgodność z wynikami uzyskanymi metodą Bowena.

W obu stosowanych odmianach metody bilansu cieplnego określenia ewapotranspiracji aktualnej danymi wejściowymi były wartości pomiaru temperatury radiacyjnej roślinności oraz standardowe dane agroklimatyczne.

Do określania ewapotranspiracji potencjalnej spośród wielu wybrano do weryfikacji metody kombinowane bazujące na równaniu Penmana. Zaletą ich jest to, że występujące w nich współczynniki korekcyjne wyznaczono w ściśle kontrolowanych warunkach. Ponadto pozwalają one ograniczyć niezbędną ilość danych wejściowych poprzez uwzględnienie dobrze zweryfikowanych doświadczalnie zależności pomiędzy wielkościami fizycznymi występującymi w tych modelach.

Chwilowe wartości ewapotranspiracji potencjalnej wyznaczone były za pomocą równania Penmana z 1963 roku oraz powszechnie stosowane jego modyfikacje takie, jak: Penman - Monteith z oporem aerodynamicznym, 1982 Kimberly Penman [1].

Obliczone wartości ewapotranspiracji aktualnej i potencjalnej, umożliwiły określenie poziomu stresu wodnego w poszczególnych lizymetrach poprzez zastosowanie wskaźnika stresu wodnego CWSI (Crop Water Stress Index) [5].

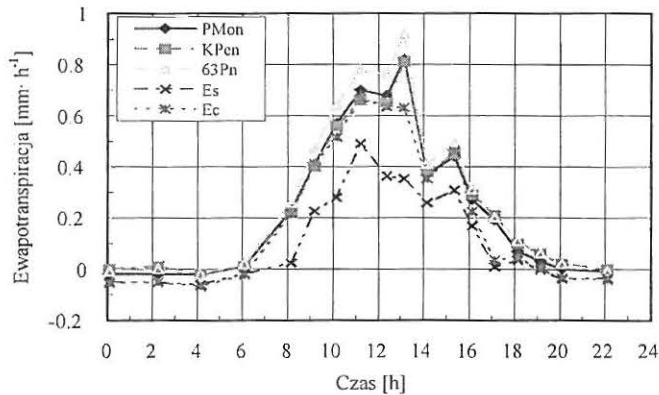
Badania prowadzono na Stacji Lizymetrycznej należącej do Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Terenowego Oddziału Badawczego w Lublinie. Stacja ta położona jest w centralnej części regionu Kanału Wieprz-Krzna, na wysokości 164 m n.p.m. i posiada współrzędne geograficzne 51°31'30"N oraz 23°04'48"E.

Lizymetry o powierzchni 1600 cm² i wysokości 130 cm wypełnione były monolitami glebowymi, pobranymi w stanie nienaruszonym wraz z naturalną pokrywą roślinną. W badaniach wykorzystano dwa rodzaje gleb: organiczną i mineralną.

Rejestracja rozkładów temperatury radiacyjnej powierzchni roślin i analiza uzyskanych zobrazowań wykonana była systemem termowizyjnym AGEMA 880 LWB (zakres pomiarowy promieniowania 8-13 μm). Całodobową rejestrację przebiegów elementów meteorologicznych prowadzono automatycznym systemem pomiarowym.

WYNIKI I DYSKUSJA

Spośród badanych metod, metoda bazująca na równaniu Penmana z 1963 roku dawała najwyższe wartości, szczególnie w godzinach o dużej intensywności radiacji słonecznej. Natomiast wartości wyliczone dwiema pozostałymi metodami nie wykazywały dużych różnic.



Rys. 2 Dobowe przebiegi ewapotranspiracji potencjalnej i rzeczywistej obliczanych różnymi metodami: PMon - metoda Penmana-Monteitha, KPen - metoda Kimberly-Penmana, 63Pn - równanie Penmana z 1963, E_s - ewapotranspiracja rzeczywista (stres wodny), E_c - ewapotranspiracja rzeczywista (komfort wodny)

Fig. 2. Daily courses of potential and actual evapotranspiration calculated with different methods: PMon - Penman-Monteith method, Kpen - Kimberly-Penman method, 63Pn - 1963 Penman equation, E_s - actual evapotranspiration (water stress), E_c - actual evapotranspiration (water comfort)

Przykłady dobowych przebiegów ewapotranspiracji przedstawiono na Rys. 2. Stwierdzono występowanie różnic wartości chwilowych ewapotranspiracji potencjalnej wyznaczonej trzema metodami z wyjątkiem godzin nocnych oraz w momentach obniżonej radiacji słonecznej.

Analizując dobowe przebiegi ewapotranspiracji potencjalnej liczonej różnymi metodami oraz ewapotranspiracji można stwierdzić, że godzinowe wartości ewapotranspiracji rzeczywistej w lizymetrach z komfortowymi warunkami wodnymi były najbardziej zbliżone do wartości uzyskanych metodami Penmana-Monteitha i Kimberly-Penmana, natomiast dla lizymetrów w stresowych warunkach wodnych wartości te były znacznie mniejsze.

określania dobowych i godzinowych wartości ewapotranspiracji przy zróżnicowanej dostępności wody glebowej.

Zastosowanie metody opartej o półempiryczne równania transportu pary wodnej i ciepła w przygruntowej warstwie atmosfery prowadzi do uzyskania chwilowych wartości ewapotranspiracji aktualnej niższych dla lizymetrów z komfortowymi i stresowymi warunkami wodnymi od odpowiednich wartości uzyskanych metodą Jacksona.

Wartości chwilowe w godzinach intensywnej radiacji słonecznej oraz wartości dobowe ewapotranspiracji aktualnej z oporem aerodynamicznym obliczanym metodą Jacksona dla lizymetrów z komfortowymi warunkami wodnymi są znacznie wyższe od wartości ewapotranspiracji potencjalnej obliczanej każdą z trzech wybranych metod oraz od ubytków wagowych wody w lizymetrach. Może to świadczyć o konieczności korekty empirycznych współczynników dla warunków Polski przy ewentualnym przyszłym korzystaniu z tej metody.

Wartości ewapotranspiracji aktualnej z oporem aerodynamicznym liczoną według półempirycznej teorii transportu pary wodnej i ciepła w przygruntowej warstwie atmosfery dla lizymetrów z warunkami nieograniczonej dostępności wody glebowej, są najbardziej zbliżone do wartości ewapotranspiracji potencjalnej obliczonych metodami Penmana - Monteitha i Kimberly Penmana.

Połączenie wartości ewapotranspiracji potencjalnej z wartościami ewapotranspiracji aktualnej obliczanej na podstawie pomiaru temperatury radiacyjnej pokrywy roślinnej pozwala na określenie głębokości stresu wodnego roślin poprzez zastosowanie wskaźnika stresu wodnego CWSI.

LITERATURA

1. **Allen R.G., Jensen M.E., Wright J.L., Burman R.D.:** Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agronomy Journal*, 81:650-662, 1989.
2. **Baranowski P.:** Modelowe badania wykorzystania pomiaru temperatury radiacyjnej roślin do oceny ewapotranspiracji aktualnej. Praca doktorska wykonana w IA PAN, Lublin, 1999.
3. **Baranowski P., Mazurek W., Walczak R.T.:** Weryfikacja modeli wyliczania ewapotranspiracji w badaniach lizymetrycznych z zastosowaniem pomiaru temperatury radiacyjnej. Materiały III Ogólnopolskiej Konferencji Termografii i Termometrii w Podczerwieni, ODKT RS NOT, Warszawa 27-29 listopada 1996, str. 219-224.
4. **Jackson R.D., Idso S.B., Reginato R.J., Pinter P.J.:** Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resour. Res.*, 17, 4, 1133-1138, 1981.

5. **Jackson R.D., Moran M.S., Gay L.W., Raymond L.E.:** Evaluating evaporation from field crops using airborne radiometry and ground based meteorological data. *Irrigation Sci.* 8, 324-332, 1987.

COMPARISON AND VERIFICATION OF ACTUAL AND POTENTIAL
EVAPOTRANSPIRATION MODELS WITH THE USE OF PLANT RADIATION
TEMPERATURE MEASUREMENTS

The Institute of Agrophysics PAS
20-290 Lublin 27, ul. Doświadczalna 4

Summary. The aim of this study was the comparison and verification of actual and potential evapotranspiration models with the use of plant radiation temperature measurements and determination of energetic water status in plants, using the crop water stress index CWSI. Two modifications of the method of actual evapotranspiration evaluation basing on heat balance equation were verified in which plant cover radiation temperature was used for calculation of sensible heat flux. These two modifications differed with the way of evaluation of aerodynamic resistance for heat transport. On the base of lysimetric studies, the impact of the state of atmosphere thermodynamic balance on the accuracy of sensible heat flux estimation was analysed as well as the use of hourly and daily actual and potential evapotranspiration values for the determination of plant water stress by application of crop water stress index CWSI. The results confirmed the usefulness of the application of radiation temperature measurements for the determination of actual evapotranspiration and plant water stress.

Key words: actual evapotranspiration, potential evapotranspiration, thermography.