

CZESŁAW PRZYBYŁA

## EWAPOTRANSPIRACJA RZECZYWISTA W STEROWANIU NAWODNIENIAMI DESZCZOWNIANYMI

*Z Katedry Melioracji Rolnych i Leśnych  
Akademii Rolniczej w Poznaniu*

### Wstęp

W sterowaniu nawodnieniami istotną rolę odgrywa obliczanie zapotrzebowania wody do nawodnień, a w tym wielkość ewapotranspiracji rzeczywistej. Jest to istotny problem w prognozowaniu i sterowaniu nawodnieniami, ponieważ ewapotranspiracja rzeczywista związana jest ściśle z fazami rozwojowymi roślin oraz dostępnością wody w glebie. O ile pierwsze zagadnienie jest już w dużym stopniu rozwiązane (**Doorenbos, Kassam** 1979), to istotną trudność sprawia określenie wpływu stopnia uwilgotnienia gleby na aktualną wielkość ewapotranspiracji (**Baier** 1969). Próbę rozwiązania tego problemu podjęto w opracowanym w Katedrze Melioracji Rolnych i Leśnych Akademii Rolniczej w Poznaniu programie BILANS. Podstawę przedstawionej pracy stanowią wyniki badań nad eksploatacją deszczowni wielkoobszarowych, prowadzonych w ramach resortowego programu RR-II-19 "Doskonalenie systemów wodno-melioracyjnych w zakresie podstaw projektowania, wykonawstwa i eksploatacji" (**Kosturkiewicz, Przybyła, Kozaczyk** 1990).

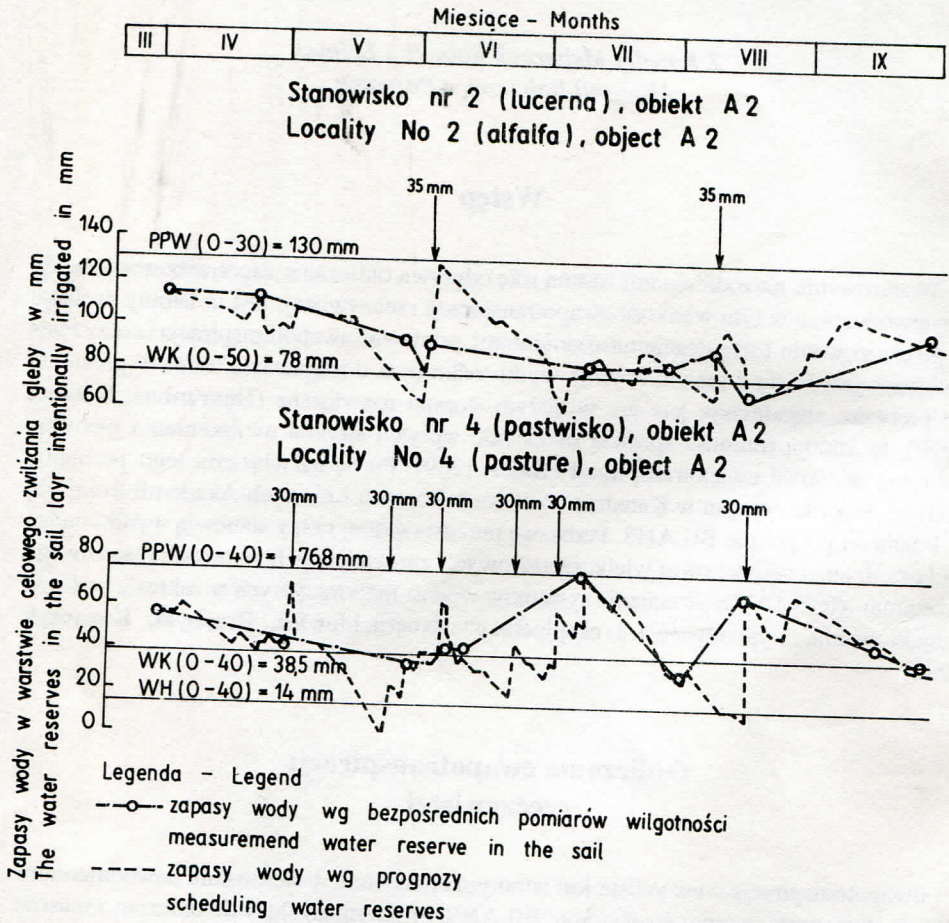
### Obliczanie ewapotranspiracji rzeczywistej

Ewapotranspiracja rzeczywista jest istotnym elementem w sterowaniu nawodnieniami deszczownianymi w ramach programu BILANS. Program ten służy do obliczeń zapasów wody w warstwie celowego zwilżania w nawodnieniach deszczownianych. Przy spadku zapasów wody poniżej założonego minimalnego zapasu wody, odpowiadającego wilgotności krytycznej, program sygnalizuje potrzebę nawodnień. Wykonywane systematyczne pomiary wilgotności gleby w siedmiu charakterystycznych stanowiskach pomiarowych, metodą neutronową, umożliwiły weryfikację opracowanego programu BILANS. Zapasy wody w warstwie celowego zwilżania gleby określone są poprzez obliczenia dobowego



zużycia wody na podstawie francuskiej modyfikacji wzoru Penmana (Roguski, Sarna-  
**cka, Drukpa** 1988). Po obliczeniu ewapotranspiracji potencjalnej (ETp) obliczana jest  
 ewapotranspiracja rzeczywista (ETr), z uwzględnieniem współczynników redukcyjnych:  
 (K<sub>1</sub>) - zależnego od gatunku i fazy rozwojowej roślin oraz (K<sub>2</sub>) - uzależnionego od  
 dostępności wody znajdującej się w warstwie celowego zwilżania gleby.

Ewapotranspiracja rzeczywista (ETr) w warunkach optymalnych zapasów wody w  
 strefie korzenia roślin, czyli pomiędzy zapasem wody przy połowej pojemności  
 wodnej (PPW) i zapasem wody przy wilgotności krytycznej (WK), odpowiadającej 0.5  
 do 0.7 PPW (Wesseling, Broek van der B. 1987), obliczana jest z zależności:



Ryc. 1. Przebieg symulowanych zapasów wody na podstawie programu prognozowania nawodnień BILANS na tle zmierzonych zapasów wody w warstwie celowego zwilżania, w okresie wegetacji 1989 roku

Fig. 1. The course of the simulated water reserves basing on the BILANS program of irrigation prognoses against the background of the measured water reserves in the intentionally irrigated soil layer, in vegetation period 1989



$$ETr = ETp * K_1 \quad [mm * d^{-1}]$$

W warunkach prawidłowej eksploatacji deszczowni współczynnik  $K_2$  można pominąć, gdyż gospodaruje się tylko wodą łatwo dostępną w strefie korzenia się roślin.

Ewapotranspiracja (ETr) w warunkach ograniczonego pokrycia niedoborów wody, gdy zapasy wody w warstwie korzenia się roślin są mniejsze od zapasów wody przy wilgotności krytycznej (WK), obliczana jest z zależności:

$$ETr = ETp * K_1 * K_2 \quad [mm * d^{-1}]$$

Współczynnik  $K_2$ , zależny od rzeczywistego zapasu wody w warstwie celowego zwilżania gleby, obliczany był w pierwotnej wersji programu BILANS według formuły:

$$K_2 = \frac{ZAPAS - WH}{WK - WH}$$

gdzie:

ZAPAS - aktualny zapas wody w warstwie celowego zwilżania w mm,

WK - zapas wody odpowiadający wilgotności krytycznej w warstwie celowego zwilżania w mm,

WH - zapas wody odpowiadający wilgotności wędnięcia roślin równy podwójnej maksymalnej higroskopijności w mm.

W eksploatacji deszczowni wielkoobszarowych obserwowane były jednak okresy wyczerpania wody w strefie celowego zwilżania gleby poniżej wilgotności krytycznej (WK), następstwem czego obserwowana była drastyczna redukcja ewapotranspiracji rzeczywistej (ETr).

Na podstawie wyników okresowych pomiarów wilgotności gleby wprowadzono do obliczeń współczynnika  $K_2$  zmodyfikowaną jego formułę:

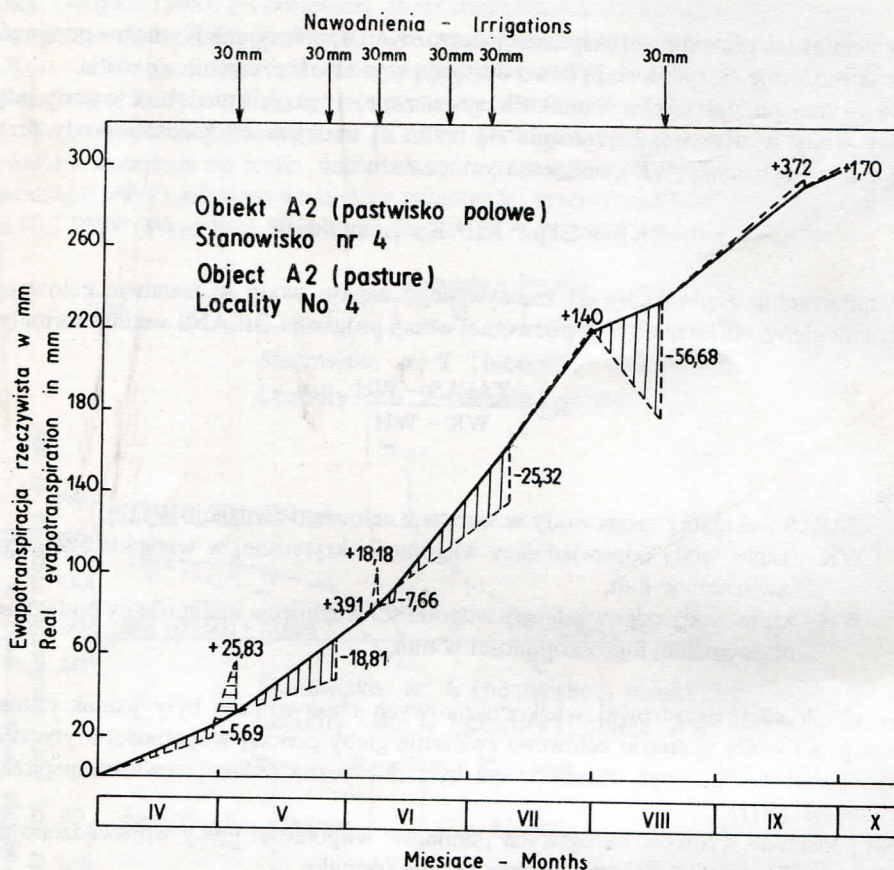
$$K_2 = \left| \frac{ZAPAS - WH}{WK - WH} \right|^n$$

gdzie:

ZAPAS < WK,

n - współczynnik wykładniczy kształtu krzywej, wynoszący od 1,5 do 2,0 w zależności od typu gleby i jej właściwości.

Na rysunku 1 pokazano przebieg symulowanych zapasów wody wyznaczony za pomocą programu prognozowania nawodnień BILANS na tle pomierzonych zapasów wody w warstwie celowego zwilżania dla dwóch wybranych stanowisk badawczych nr: 4 i 6. Jak widać z rysunku 1, przebieg aktualnych zapasów wody w górnych granicach uwilgotnienia nie przekraczał połowej pojemności wodnej. Natomiast symulowane uwilgotnienie w okresach suszy i braku nawodnień spadało poniżej maksymalnej wilgotności



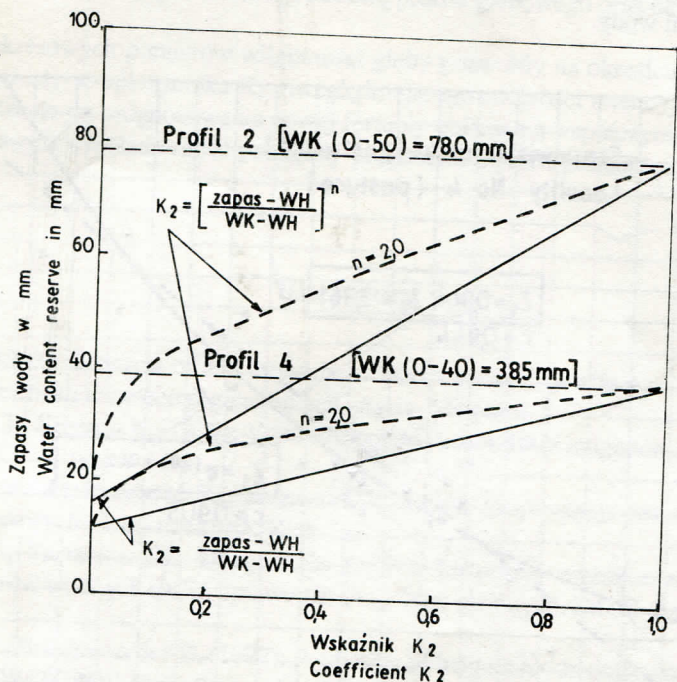
Ryc. 2. Krzywa sumowania ewapotranspiracji rzeczywistej ETr obliczonej z bilansu wodnego warstwy celowego zwilżania na podstawie zmierzonych zapasów wody w tej warstwie w okresach bilansowych wraz z naniesionymi odchyłkami między zmierzonymi i prognozowanymi zapasami wody w oparciu o program BILANS

Fig. 2. A curve of the sum of real evapotranspiration ETr calculated from the water balance of the intentionally irrigation soil layer, basing on the intended increments of water reserves in this layer and deviations between the intended and the prognosed water reserves basing on the program BILANS

higroskopowej, co naturalnie nie może mieć miejsca. Okresy takie dla stanowiska 2 zlokalizowanego na polu lucerny w glebie zwięzłej, charakteryzującej się dużymi zdolnościami retencyjnymi, nie występowały. Natomiast na lżejszej glebie pastwiska polowego okresy z symulowanymi zapasami wody poniżej wilgotności wędnięcia wystąpiły w drugiej połowie maja i w pierwszej połowie sierpnia.

Przytoczone dane wskazują na to, że wielkości współczynników  $K_2$  przyjmowanych w obliczeniu ewapotranspiracji rzeczywistej (ETr) są zbyt duże. Potwierdzenie tego stwierdzenia znajdujemy również na rysunku 2. Na wykresie tym naniesiono krzywą



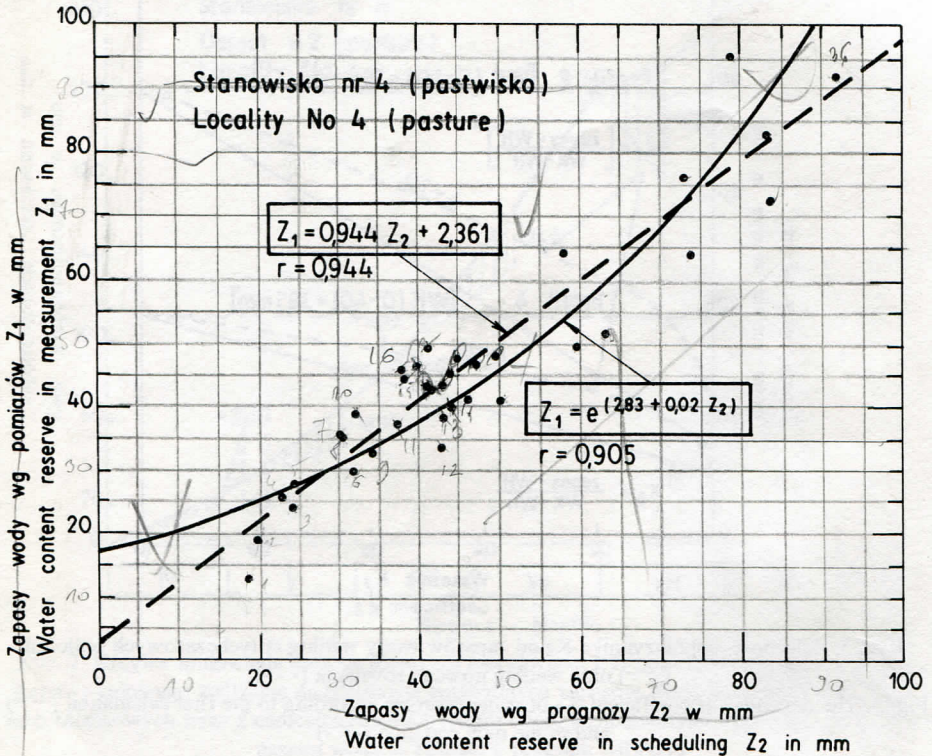


Ryc. 3. Zależność współczynnika  $K_2$  od zapasów wody według dotychczasowych obliczeń (—) oraz według nowego równania (- - -)

Fig. 3. The depends of coefficient  $K_2$  of water reserves according to the first calculation (—), and to the new equation (- - -)

sumowania ewapotranspiracji rzeczywistej (ETr) obliczonej z bilansu wodnego warstwy celowego zwilżania dla stanowiska 4, na podstawie zmierzonych przyrostów zapasów wody w tej warstwie. Na krzywą sumowania ewapotranspiracji rzeczywistej (ETr) naniesiono odchyłki między zmierzonymi i prognozowanymi zapasami wody. Jak widać z powyższego rysunku, wyraźnie dominują ujemne wartości odchyłek. Obliczone średnie wartości odchyłek dla wszystkich siedmiu badanych profili były ujemne i wynosiły od -1,47 mm do -21,47 mm, co oznacza, że zapasy wody w warstwie celowego zwilżania gleby wynikające z prognoz były mniejsze od zmierzonych zapasów. Na rycinie 3 przedstawiono zależności pomiędzy współczynnikiem  $K_2$  obliczonym według pierwotnej formuły (—) oraz zmodyfikowanej (- - -) dla profilu 2 i 4, przyjmując wielkość współczynnika wykładniczego krzywej ( $n$ ) równą 2,0. Jak widać z tego rysunku, przy

obliczaniu współczynnika  $K_2$  według nowej formuły, redukcja ewapotranspiracji potencjalnej (ETp) będzie wyraźnie zwiększona przy niższych wartościach zapasów wody, co przybliży do rzeczywistych wielkości dobowe wartości ewapotranspiracji rzeczywistej (ETr). Dobór odpowiedniej wartości współczynnika potęgowego (n) uzależniony jest od typu gleby oraz jej właściwości fizyko-wodnych i waha się od 1,5 do 2,0. Wprowadzenie do prognozowania nawodnień programem BILANS nowej formuły obliczania współczynnika  $K_2$  znacznie poprawiło współzależność pomiędzy prognozowanymi i mierzonymi zapasami wody.



Ryc. 4. Porównanie pomierzonych zapasów wody  $Z_1$  i obliczonych w prognozie  $Z_2$

Fig. 4. Comparison between measured water content reserve  $Z_1$  and computed water content in scheduling  $Z_2$ .

Na rysunku 4 przedstawiono dla nawadnianego pastwiska polowego (profil 4) zależności pomiędzy zapasami wody według prognoz oraz według pomiarów. Jak to widać na powyższym rysunku, obliczony współczynnik korelacji jest bardzo wysoki dla regresji prostoliniowej ( $r=0.94$ ) i nieznacznie zmienia się wraz z wprowadzeniem nieliniowości (regresji nieliniowych).



## Wnioski

Przeprowadzone badania nad wpływem uwilgotnienia gleby na aktualną wielkość ewapotranspiracji rzeczywistej, będącej podstawą sterowania nawodnieniami deszczowanymi, pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- dynamika uwilgotnienia gleby związana była z opadami i zastosowanymi deszczowaniami, zużyciem wody przez rośliny, budową profilu glebowego oraz ukształtowaniem terenu,
- wyniki okresowych pomiarów wilgotności gleby pozwoliły na określenie zmodyfikowanej formuły współczynnika  $K_2$ , uwzględniającego zdolności retencyjne gleby,
- wprowadzenie do prognozowania nowej formuły obliczenia współczynnika  $K_2$  znacznie poprawiło współzależność pomiędzy prognozowanymi i pomierzonymi zapasami wody.

## Literatura

- Baier W.** (1969): Concepts of soil moisture availability and their effect on soil moisture estimates from a meteorological budget. *Agric. Meteorol.*
- Doorenbos J., Kassam A.** (1979): Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 33.
- Kosturkiewicz A., Przybyła Cz., Kozaczyk P.** (1990): Eksploatacja deszczowni wielkoobszarowych. *Zesz. nauk. AR Krak.*
- Roguski W., Sarnacka St., Drupka St.** (1989): Instrukcja wyznaczania potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych. *IMUZ mater. instrukt.* 66.
- Wesseling J., Broek van der B.** (1977): Prediction of irrigation scheduling the numerical model SWATCROP. *Proc. Symp. Agrohydr., Wageningen, The Netherlands.*

### REAL EVAPOTRANSPIRATION IN THE SCHEDULING OF SPRINKLING IRRIGATION SYSTEMS

#### Summary

In the scheduling of sprinkling an essential part is played by the calculation of water required for irrigation, including the magnitude of real evapotranspiration. It is an essential problem in the control of irrigation since the real evapotranspiration is closely connected with the growth phases of plants and the availability of water in the soil. The real evapotranspiration is an essential element in the control of sprinkling irrigation

systems basing on the BALANCE program. The coefficient  $K_2$ , depending on the real water reserve in the intentionally irrigated soil layer was calculated in the program according to the new formula.