

*Jacek Żarski, Waldemar Treder, Stanisław Dudek, Renata Kuśmierk-Tomaszewska*

## **USTALANIE TERMINÓW NAWADNIANIA NA PODSTAWIE PROSTYCH POMIARÓW METEOROLOGICZNYCH**

---

### ***ESTABLISH IRRIGATION DEADLINES ON THE BASIS OF SIMPLE METEOROLOGICAL MEASUREMENTS***

#### **Streszczenie**

Celem opracowania było porównanie terminów nawadniania ustalonych za pomocą różnych parametrów i wskaźników atmosferycznych oraz wstępna weryfikacja ich praktycznej przydatności. W pracy porównano cztery metody ustalania terminów stosowania nawodnień, wykorzystujące wyniki prostych pomiarów meteorologicznych. Obliczenia zostały wykonane dla pełnego sezonu nawadniania, obejmującego okres od 11 maja do 15 września. Symulacje przeprowadzono dla dwóch okresów wegetacyjnych: suchego w 2008 r. oraz wilgotnego, ale cechującego się bardzo nierównomiernym rozkładem opadów atmosferycznych, sezonu 2010 r. Wykorzystano dane meteorologiczne ze standardowego pomiaru prowadzonego w Stacji Badawczej UTP, zlokalizowanej w Mochełku pod Bydgoszczą. Stwierdzono, że porównywane wskaźniki zużycia wody, obliczone na podstawie różnych parametrów meteorologicznych znacznie różniły się, zarówno pod względem wartości średnich sezonowych jak i ekstremalnych, ale cechowała je istotna współzależność. Najbardziej wodooszczędne okazało się sterowanie nawadnianiem według metody bilansowej Drupki, a w drugiej kolejności na podstawie pomiarów opadów atmosferycznych. Najwięcej terminów nawadniania, zarówno w roku suchym jak i mokrym, ustalono na podstawie metody bilansowej z wykorzystaniem wskaźnika zużycia wody Hargreavesa. Ustalanie terminów nawadniania roślin według bilansowania przychodów i rozchodów wody na podstawie wskaźników Drupki oraz według wyłącznie pomiaru opadów atmosferycznych warto zalecać praktyce, ze względu na stwierdzoną wodooszczędność tych metod oraz wykorzystywanie tylko najprostszych wyników pomiarów meteorologicznych standardowych lub automatycznych.

**Słowa kluczowe:** sterowanie nawadnianiem, terminy nawadniania, pomiary meteorologiczne, ewapotranspiracja

### Summary

*The aim of the study was to compare the deadlines of irrigation established on basis of various atmospheric parameters and indicators and an initial verification of their practical usefulness. The study compares four methods for determining the deadlines of irrigation, using the results of a simple meteorological measurements. Calculations were made for a full season of irrigation, covering the period from 11 May to 15 September. Simulations were conducted for two growing seasons: dry of 2008, and of 2010 wet but with a very uneven distribution of precipitation. Meteorological data from standard measurement conducted in UTP Research Station, located in Mochelek near Bydgoszcz were used. It was found that the indices of water consumption, that have been calculated on the basis of various meteorological parameters differed largely, both in terms of seasonal averages and also extremes, but were characterized by a significant correlation. An irrigation the most saving the water have proved to be controlled by the method of balance by Drupka, and secondly by the method on the basis of precipitation measurements. Most deadlines of irrigation, both in dry and wet season, were established under the balance method using the ratio of water consumption calculated by Hargreaves method. Setting of time irrigating plants by balancing revenues and expenditures of the water on the basis of indicators of Drupka and by only measuring the precipitation, it is recommended for the practice due to the saving water in those methods and use only the simplest standard or automatic meteorological measurements.*

**Key words:** irrigation control, deadlines of irrigation, meteorological measurements, evapotranspiration

### WSTĘP

Podstawowym celem nawadniania interwencyjnego, charakterystycznego dla warunków klimatycznych Polski, jest utrzymywanie zapasu wody w korzeniowej warstwie gleby w przedziale łatwo dostępnym dla roślin [Rzekanowski i in. 2011]. Warunek ten jest spełniony w przypadku umiejętnego sterowania nawadnianiem, którego podstawowym elementem jest wyznaczenie właściwych terminów nawadniania. Termin aplikowania dawek wody może być określany bezpośrednio na podstawie pomiarów wilgotności lub potencjału wodnego gleby (np. za pomocą sond lub tensjometrów), albo pośrednio na podstawie kryteriów roślinnych lub przebiegu pogody.

W przypadku sterowania deszczowaniem prowadzonego w oparciu o pomiary elementów pogodowych najważniejsze jest precyzyjne określenie po stronie przychodów efektywnych opadów atmosferycznych, a po stronie rozchodów ewapotranspiracji, wyznaczonej przy pomocy mniej lub bardziej skomplikowanych wzorów, wymagających pełnego lub ograniczonego dostępu do danych meteorologicznych. Mimo dużych osiągnięć w doskonaleniu metod określania ewapotranspiracji przez krajowe ośrodki naukowe [Łabędzki 2006, Łabędzki i in. 2011], w praktyce dostęp do danych umożliwiających korzystanie

z tego dorobku jest często ograniczony. Dlatego warto ocenić możliwość prowadzenia nawodnień na podstawie wykonywania prostych pomiarów meteorologicznych, za jakie uznaje się m.in. pomiar opadów atmosferycznych (konieczny w przypadku nawadniania), temperatury oraz wilgotności powietrza. Celem opracowania jest zaprezentowanie takich możliwości, porównanie terminów nawadniania ustalonych za pomocą różnych parametrów i wskaźników meteorologicznych oraz wstępna, pośrednia weryfikacja ich praktycznej przydatności.

## MATERIAŁ I METODY

W pracy porównano cztery metody ustalania terminów stosowania nawodnień na podstawie danych meteorologicznych, w okresie wzmożonego zapotrzebowania roślin na wodę. Pierwsza z nich oparta jest wyłącznie na standardowym (deszczomierz Hellmanna z powierzchnią odbiorczą 200 cm<sup>2</sup>, usytuowaną 1 m nad powierzchnią gruntu) pomiarze opadów atmosferycznych (P), których wysokość jest wyznacznikiem przerw w nawadnianiu. Szczegółowe zasady stosowania i weryfikacji tej metody opisane są w pracach ośrodka bydgoskiego [Grabarczyk i in. 1990, 1992, Żarski i in. 2000].

Pozostałe trzy metody polegały na bilansowaniu przychodów i rozchodów wody, a różnice wynikały ze stosowania po stronie rozchodów, trzech różnych wskaźników zużycia wody:

– Dobowych wartości zużycia wody z warstwy gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu ( $e_n$ ) w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego, opracowanych przez Drupkę [1976] dla dwóch rodzajów upraw i dwóch kategorii glebowych, na podstawie średniej dobowej temperatury powietrza (T). Przyjęto kategorię upraw: rośliny polowe, użytki zielone, drzewa owocowe, krzewy jagodowe oraz kategorię gleby o podłożu piaszczystym.

– Dobowych wartości ewapotranspiracji potencjalnej wyznaczanej na podstawie wzoru Grabarczyka  $ET_p$  (G), wymagającego znajomości średniej dobowej temperatury powietrza (T) i średniego dobowego niedosytu wilgotności powietrza (d) [Grabarczyk i Żarski 1992, Grabarczyk i in. 1994].

– Dobowych wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej (referencyjnej) według modelu Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena  $ET_o$  (HDA), obliczanej na podstawie pomiarów maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza w ciągu doby ( $T_{MAX}$ ,  $T_{MIN}$ ) [Treder i in. 2010].

Obliczenia zostały wykonane dla pełnego sezonu nawadniania, obejmującego okres od 11 maja do 15 września. Przez cały sezon nawadniane są sady, użytki zielone i niektóre rośliny pastewne (np. koniczyna, lucerna). Symulacje wykonano dla dwóch okresów wegetacyjnych: suchego w 2008 r. (suma opadów atmosferycznych IV-IX 240,1 mm) oraz wilgotnego, ale cechującego się bardzo nierównomiernym rozkładem opadów atmosferycznych, sezonu 2010 r. (suma

opadów IV-IX 477,3 mm). Wykorzystano dane meteorologiczne ze standardowego pomiaru prowadzonego w Stacji Badawczej UTP, zlokalizowanej w Mochelku pod Bydgoszczą. Dla wszystkich metod przyjęto jednakową jednorazową dawkę nawodnieniową 30 mm, zakładając jej dostosowanie do właściwości rencyjnych korzeniowej warstwy gleby.

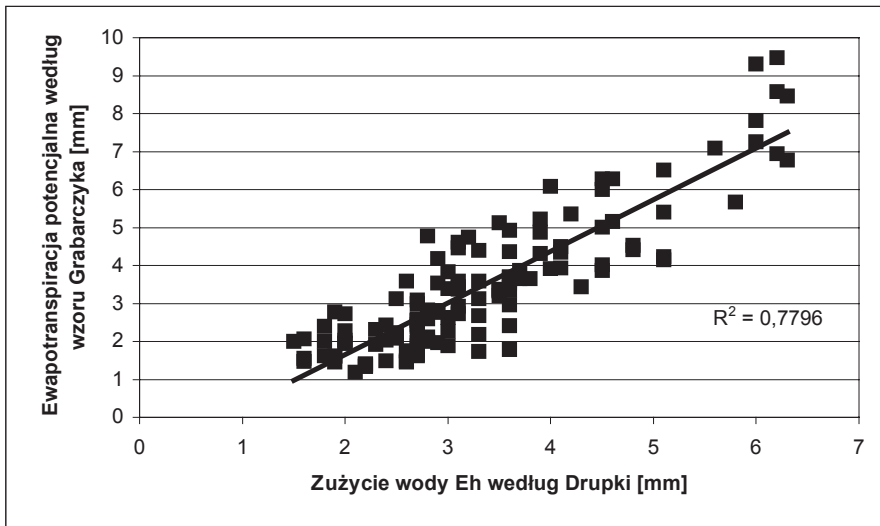
## WYNIKI BADAŃ

Porównywane wskaźniki zużycia wody, obliczone na podstawie różnych parametrów meteorologicznych, znacznie różniły się, zarówno pod względem wartości średnich sezonowych, jak i ekstremalnych (tab.1). Cechowała je także różna zmienność wynikająca z odmiennych warunków pogodowych. Największe wartości przeciętne zużycia wody w obu rozpatrywanych sezonach nawodnieniowych otrzymano stosując do obliczeń model Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena ETo (HDA), a najmniejsze wykorzystując wskaźniki  $e_h$  opracowane przez Drupkę. Największa zmienność wartości ewapotranspiracji dobowej dotyczyła z kolei wartości wyznaczonych za pomocą wzoru Grabarczyka, uwzględniającego oprócz temperatury także niedosyt wilgotności powietrza. Maksymalna wartość ewapotranspiracji obliczonej według tego modelu osiągnęła wartość aż 9,5 mm na dobę.

**Tabela 1.** Statystyka opisowa dobowych wskaźników zużycia wody w suchym (2008 r.) i wilgotnym (2010 r.) sezonie nawodnieniowym [mm]  
**Table 1.** Descriptive statistics of daily indicators of water consumption in the dry (2008) and wet (2010) season of irrigation [mm]

Wskaźnik zużycia wody	Wartość średnia	Wartość maksymalna	Wartość minimalna	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności [%]
Sezon nawodnieniowy suchy (opady efektywne 173,2 mm)					
$e_h$ według Drupki	3,16	5,20	0,90	0,78	25
ETp według Grabarczyka	3,85	8,20	1,41	1,46	38
ETo według Hargreavesa	4,39	6,50	1,71	1,18	27
Sezon nawodnieniowy wilgotny (opady efektywne 362,1 mm)					
$e_h$ według Drupki	3,33	6,30	1,50	1,16	35
ETp według Grabarczyka	3,46	9,47	1,19	1,79	52
ETo według Hargreavesa	4,23	7,39	1,36	1,57	37

Niezależnie od różnic bezwzględnych wartości, porównywane wskaźniki dobowego zużycia wody przez rośliny cechowała istotna współzależność. Współczynniki determinacji wynosiły się od 0,55 do 0,78, w zależności od rodzaju wskaźnika i sezonu nawodnieniowego. Większe dotyczyły roku wilgotnego w porównaniu z suchym, zaś największy współczynnik charakteryzował zależność wskaźnika  $e_h$  Drupki i ETp Grabarczyka w sezonie wilgotnym (rys. 1).



**Rysunek 1.** Przykładowa współzależność wskaźników zużycia wody w wilgotnym sezonie wegetacyjnym

**Figure 1.** An example of the correlation of indicators of water consumption in a wet growing season

**Tabela 2.** Terminy nawadniania dawką jednorazową 30 mm według porównywanych metod sterowania (kolejny dzień sezonu nawodnieniowego; 1=11 maja)

**Table 2.** Deadlines of 30mm single dose of irrigation according to the compared methods of control (consecutive day during irrigation season, 1 = 11 May)

Metoda	Wskaźnik zużycia wody	Wymagane dane meteorologiczne	Terminy nawadniania	Liczba dawek	Dawka sezonowa [mm]
Sezon nawodnieniowy suchy (opady efektywne 173,2 mm)					
Na podstawie opadów		P	1,13, 22,30,38,49,57, 76, 84, 120	10	300
Bilansowa	$e_h$	P, T	1, 15, 25, 34, 47, 55, 75, 81	8	240
	ETp (G)	P, T, d	1, 13, 21, 26, 32, 41, 51, 55, 76, 80, 121	11	330
	ETo (HDA)	P, T <sub>MAX</sub> , T <sub>MIN</sub>	1, 10, 20, 24, 29, 34, 39, 47, 53, 58, 73, 79, 84, 118	14	420
Sezon nawodnieniowy wilgotny (opady efektywne 362,1 mm)					
Na podstawie opadów		P	26,42, 49, 58, 66, 100	6	180
Bilansowa	$e_h$	P, T	28, 43, 52, 59, 66, 101	6	180
	ETp (G)	P, T, d	27, 42, 49, 54, 60, 64, 67, 97	8	240
	ETo (HDA)	P, T <sub>MAX</sub> , T <sub>MIN</sub>	17, 27, 35, 43, 49, 54, 60, 64, 67, 98	10	300

Liczba jednorazowych dawek wody zastosowanych według porównywalnych metod ustalania terminów nawodnień wynosiła od 8 do 14 w suchym sezonie 2008 r. oraz od 6 do 10 w roku 2010 r., w którym mimo wysokich sumarycznych opadów atmosferycznych wystąpił długotrwały okres posuszny, obejmujący czerwiec i dwie pierwsze dekady lipca (suma opadów atmosferycznych w tym okresie wyniosła tylko 24,9 mm). Najbardziej wodooszczędne okazało się prowadzenie nawodnień według metody bilansowej Drupki, a w drugiej kolejności na podstawie pomiarów opadów atmosferycznych. Najwięcej terminów nawadniania, zarówno w roku suchym jak i mokrym, ustalono na podstawie metody bilansowej z wykorzystaniem wskaźnika zużycia wody Hargreavesa. W porównaniu z metodą Drupki sezonowa dawka nawodnieniowa według tej metody była o 75% wyższa w suchym sezonie 2008 r. i o 67% wyższa w roku 2010.

## DYSKUSJA

Zaprezentowane różnice bezwzględnych wartości zużycia wody, a przede wszystkim dotyczące terminów nawadniania i wysokości sezonowych dawek wody według porównywanych w pracy metod, świadczą o potrzebie ich krytycznego omówienia i weryfikacji. Ze względu na konieczność efektywnego wykorzystywania wody do nawadniania, w pierwszej kolejności należy zwrócić uwagę na metody najbardziej wodooszczędne, do których zaliczyć można w świetle uzyskanych wyników metodę bilansową Drupki oraz sterowanie nawadnianiem na podstawie pomiarów opadów atmosferycznych.

Metoda bilansowa Drupki oparta jest na pomiarze średniej dobowej temperatury powietrza. Można wykorzystać w tym celu albo pomiar standardowy albo też pomiar i procedurę automatyczną. Jak wykazały badania Kuśmierk [2006], średnie dobowe temperatury powietrza mierzone i obliczane metodą tradycyjną i automatyczną wykazują najwyższy spośród wszystkich parametrów meteorologicznych stopień zgodności. Mankamentem tej metody może być natomiast brak szerszego rozpropagowania zależnych tylko od temperatury wskaźników dobowego zużycia wody z warstwy gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu.

Za metodą ustalania terminów nawodnień tylko na podstawie pomiaru opadów przemawia nie tylko jej prostota ale także fakt, że zapewnia ona wystarczająco wysokie i oszczędne dawki wody. Świadczą o tym wcześniejsze badania [Grabarczyk i in. 1990, 1992], w których poletka kostrzewy łąkowej, kupkówki pospolitej oraz buraka cukrowego, nawadniane według tej metody oraz według wskazań tensjometrów plonowały podobnie. Metoda ta zakłada wykorzystywanie wyników pomiarów opadów atmosferycznych wykonywanych standardowym deszczomierzem Hellmanna. Stąd jeśli prowadzi się automatyczne pomiary opadów deszczomierzem o innej powierzchni odbiorczej lub usytuowanym na innej niż 1 m wysokości, należałoby tę metodę zmodyfikować. Różnice w stan-

dardowym i automatycznym pomiarze opadów są bowiem często istotne [Kuśmirek 2006].

Pozostałe metody prowadziły do ustalenia znacznie większej liczby terminów nawodnień, w porównaniu z omówionymi. W przypadku metody bilansowania przychodów i rozchodów wody za pomocą ewapotranspiracji referencyjnej Hargreavesa, celowa byłaby weryfikacja współczynników empirycznych modelu, uwzględnienie współczynnika specyficznego dla określonego gatunku roślin i fazy wzrostu i rozwoju (współczynnik roślinny  $k$ ) oraz porównanie metody w eksperymentach polowych z nawadnianiem, prowadzonym w oparciu o metody bezpośrednie (np. przy użyciu tensjometrów). Słabością ustalania terminów nawodnień za pomocą bilansowania z wykorzystaniem ewapotranspiracji potencjalnej (a więc rzeczywistej w warunkach pól nawadnianych) Grabarczyka, jest obok wodochłonności, także problem z pomiarem niedosytu wilgotności powietrza. Automatyczne stacje pomiarowe mierzą ten parametr w sposób pośredni, a dodatkowo wartości pozyskane z automatu wykazują często małą zgodność z pomierzonymi sposobem standardowym [Kuśmirek 2006]. Warto podkreślić jednak, że wskaźniki zużycia wody obliczone w oparciu o wzór Grabarczyka wykazywały w porównaniu z innymi największy rozstęp, co jest jego zaletą, w związku z często zmieniającymi się „z dnia na dzień” w sezonie nawodnieniowym warunkami pogodowymi, kształtującymi ewapotranspirację.

## WNIOSKI

1. Porównywane wskaźniki zużycia wody, obliczone na podstawie różnych parametrów meteorologicznych znacznie różniły się, zarówno pod względem wartości średnich sezonowych jak i ekstremalnych, ale cechowała je istotna współzależność.

2. Najbardziej wodoszczędne okazało się sterowanie nawadnianiem według metody bilansowej Drupki, a w drugiej kolejności na podstawie pomiarów opadów atmosferycznych. Najwięcej terminów nawadniania, zarówno w roku suchym jak i mokrym, ustalono na podstawie metody bilansowej z wykorzystaniem wskaźnika zużycia wody Hargreavesa.

3. Ustalanie terminów nawadniania roślin według bilansowania przychodów i rozchodów wody na podstawie wskaźników Drupki oraz według pomiaru opadów atmosferycznych może być zalecane w praktyce, ze względu na wodoszczędność oraz wykorzystywanie najprostszych wyników pomiarów meteorologicznych standardowych lub automatycznych.

## BIBLIOGRAFIA

- Drupka S. *Techniczna i rolnicza eksploatacja deszczowni*. PWRiL Warszawa 1976, ss. 310.
- Grabarczyk S., Żarski J., Dudek S. *Metoda sterowania deszczowaniem w skali lanu i gospodarstwa na podstawie opadów atmosferycznych*. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie, nr 250, 1990, 41-56.
- Grabarczyk S., Żarski J., Dudek S. *Sterowanie deszczowaniem według opadów atmosferycznych*. Roczniki AR w Poznaniu, CCXXXIV, 1992, s. 83-90.
- Grabarczyk S., Żarski J. *Próba statystycznej weryfikacji niektórych wzorów określających ewapotranspirację potencjalną*. Zeszyty Naukowe ATR w Bydgoszczy, nr 180, Roln. 32, 1992, s. 169-176.
- Grabarczyk S., Żarski J., Dudek S. *Zależność klimatycznych wskaźników niedoborów wodnych od opadów atmosferycznych*. Roczniki AR w Poznaniu, CCLVII, 1994, s. 15-20.
- Kuśmierek R. *Ocena przydatności automatycznej stacji do badań agrometeorologicznych*. Rozprawa doktorska ATR Bydgoszcz, 2006.
- Łabędzki L. *Susze rolnicze. Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji*. Wydawnictwo IMUZ Falenty, 2006, ss.107.
- Łabędzki L., Kanecka-Geszke E., Bąk B., Słowińska S. *Estimation of reference evapotranspiration using the Penman-Monteith method for climatic conditions of Poland*. In: Evapotranspiration. Book edited by Leszek Łabędzki. Publisher: In Tech, 2011.
- Rzekanowski C., Żarski J., Rolbiecki S. *Potrzeby, efekty i perspektywy nawadniania roślin na obszarach szczególnie deficytowych w wodę*. Postępy Nauk Rolniczych, nr 1, 2011, s. 51-63.
- Treder W., Wójcik K., Żarski J. *Wstępna ocena możliwości szacowania potrzeb wodnych roślin na podstawie prostych pomiarów meteorologicznych*. Zeszyty Naukowe Instytutu Sadownictwa i Kwiaciarnictwa, t.18, 2010, s. 143-153.
- Żarski J., Dudek S., Grabarczyk S., Rolbiecki S., Rzekanowski C. *Simple method for sprinkler irrigation control of vegetables on the base of rainfall measurement*. Acta Hort. 537, 2000, s. 557-561.

Prof. dr hab. Jacek Żarski  
Dr inż. Stanisław Dudek  
Dr inż. Renata Kuśmierek-Tomaszewska  
Katedra Melioracji i Agrometeorologii  
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy  
85-029 Bydgoszcz, ul. Bernardyńska 6  
tel. 052 3749537, e-mail: zarski@utp.edu.pl

Prof. dr hab. Waldemar Treder  
Instytut Ogródnictwa  
96-100 Skierniewice, ul. Pomologiczna 18  
e-mail: wtreder@insad.pl

Recenzent : Prof. dr hab. Czesław Rzekanowski