



O SZACOWANIU POTRZEB WODNYCH DRZEW OWOCOWYCH W POLSCE NA PODSTAWIE TEMPERATURY POWIETRZA

Stanisław Rolbiecki

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

ON THE ESTIMATION OF THE WATER NEEDS OF FRUIT TREES IN POLAND BASED ON AIR TEMPERATURE

Streszczenie

W opracowaniu przedstawiono proste wzory na potrzeby wodne drzew owocowych dla warunków Polski wyprowadzone w oparciu o dane liczbowe podawane przez wielu autorów. Podano wzory do wyznaczenia potrzeb wodnych drzew owocowych na podstawie temperatury powietrza opracowane według danych liczbowych przedstawionych przez Drupkę, Kemmera i Schulza oraz Pressa. Przedstawiono metodę współczynników roślinnych z wykorzystaniem ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczanej według metod zaproponowanych przez: Tredera, Blaney-Criddle'a w modyfikacji Żakowicza, Hargreaves'a w modyfikacji Droogersa i Allena oraz Hargreaves'a w modyfikacji Bogawskiego i Bednorz. Współczynniki roślinne dla poszczególnych miesięcy okresu wegetacji podano według Tredera oraz według Doorenbosa i Pruitta. Przedstawione wzory mogą być pomocne w oszacowaniu potrzeb nawadniania sadów (i winnic) w warunkach Polski i w podejmowaniu decyzji o lokalizacji urządzeń nawodnieniowych oraz ewentualnym stosowaniu nawodnień w sadach i winnicach na obszarze Polski.

Słowa kluczowe: potrzeby wodne, drzewa owocowe, winnice, ewapotranspiracja

Abstract

The paper presents simple equations for estimation of water needs of fruit trees for conditions of Poland. These formulas are derived on the base of numerical data provided by many authors. Water needs of fruit trees can be estimated on the base of air temperature according to data and methodology of Drupka, Kemmer and Schulz as well as Press. The method of estimation of fruit tree evapotranspiration with the use of crop coefficients for particular months of the vegetation period (acc. to Doorenbos and Pruitt and acc. to Treder) and reference crop (grass) evapotranspiration on the base of air temperature (acc. to: Treder, Hargreaves in modification of Droogers and Allen, Hargreaves in modification of Bogawski and Bednorz, Blaney-Criddle in modification of Żakowicz) are also presented. The presented formulas can be helpful in estimating the irrigation needs of orchards (and vineyards) in conditions of Poland. The presented formulas can be also useful in making decisions on the location of irrigation equipment and the possible application of irrigation in orchards (and vineyards) in Poland.

Keywords: *water needs, fruit trees, vineyards, evapotranspiration*

WSTĘP

Potrzeby wodne roślin sadowniczych są oceniane jako wysokie (Słowik 1973; Treder, Pacholak 2006; Rzekanowski 2009). Zapotrzebowanie na wodę zwiększa się w miarę wydłużania okresu wzrostu i dojrzewania owoców. Z drugiej strony, potrzeby wodne roślin sadowniczych rosną wraz ze splecaniem systemu korzeniowego, który zależy od gatunku oraz typu podkładek. Przyjmuje się wobec tego, że ze wszystkich roślin sadowniczych największe potrzeby wodne mają rośliny jagodowe, a wśród nich najwięcej wody wymagają borówka wysoka, truskawka oraz poziomka, a następnie – malina, porzeczką i agrest (Rzekanowski 2009). Analiza potrzeb wodnych roślin sadowniczych wskazuje ponadto, że stosunkowo wysokie wymagania wodne mają także drzewa owocowe (Słowik 1973; Treder, Pacholak 2006; Rzekanowski 2009). Wśród drzew duże potrzeby – zwłaszcza na podkładkach karłowych i półkarłowych – mają jabłoni i śliwa, średnie – brzoskwinia, czereśnia, grusza i orzech włoski, a relatywnie małe – morela i wiśnia (Słowik 1973; Rzekanowski 2009).

Celem pracy było zebranie, opracowanie i przedstawienie, na podstawie danych z literatury, prostych wzorów na obliczenie potrzeb wodnych drzew owocowych na podstawie samej tylko temperatury powietrza.

MATERIAŁ I METODY

W polskiej literaturze z zakresu potrzeb wodnych drzew owocowych podawane są wielkości opadów niezbędnych do uzyskania wysokich plonów – określanych jako opady optymalne – według Kemmera i Schulza (Słowik 1973; Rzekanowski 2009; Treder, Pacholak 2006) oraz według Pressa (Ostromięcki 1973; Rzekanowski 2009; Żakowicz i in. 2009). Na podstawie tabelarycznych danych liczbowych w dostępnej literaturze (Drupka 1976; Dzieżyc 1988; Żakowicz i in. 2009) wyznaczono równania regresji i podano formuły pomocne do wyznaczania potrzeb wodnych wybranych gatunków drzew owocowych w oparciu o temperaturę powietrza.

Przedstawiono także metodę współczynników roślinnych opartą na ewapotranspiracji wskaźnikowej (ET_o), uważaną za optymalną metodę określania potrzeb wodnych roślin, a w konsekwencji – potrzeb nawodnień (Łabędzki i in. 1996). W tej metodzie podano wybrane wzory na ewapotranspirację wskaźnikową wyznaczaną w oparciu o wartości temperatury powietrza, do których opracowano współczynniki roślinne (k) dla drzew owocowych uprawianych w Polsce (<http://www.nawadnianie.inhort.pl/eto/26-eto-temp>), bądź takie, które – w przypadku ograniczonej dostępności do danych meteorologicznych – są zalecane lub mogą być pomocne do wyznaczania ewapotranspiracji wskaźnikowej w warunkach Polski (Bogawski, Bednorz 2014; Treder i in. 2010; Żakowicz 2010).

WYNIKI

Potrzeby wodne drzew owocowych według Drupki

W tej metodzie potrzeby wodne drzew owocowych określane są jako zużycie wody z warstwy o kontrolowanym uwilgotnieniu (tab. 1). Biorąc pod uwagę istotny wpływ podłoża na zdolność retencyjną gleby, potrzeby wodne wyznacza się dla gleb o podłożu gliniastym lub pylastym (kategoria A) bądź piaszczystym (kategoria B). W okresach bezopadowych wartości te stanowią niedobory wody potrzebnej na pokrycie ewapotranspiracji potencjalnej drzew owocowych.

Potrzeby wodne drzew sadowniczych według Kemmera i Schulza

W tej metodzie wielkość niezbędnych opadów w ciągu roku została uzależniona od średniej temperatury powietrza w okresie V-IX (tab. 2). Zakłada się tu jednocześnie, że co najmniej 50% opadów przypada na okres od maja do września (Treder, Pacholak 2006). Wzory na wyznaczenie potrzeb wodnych drzew owocowych na podstawie założeń Kemmera i Schulza pozwalają na obliczenie sumy niezbędnych opadów rocznych (I-XII) dla następujących gatunków: brzoskwinia, czereśnia, grusza, jabłoń, śliwa i winorośl.

Tabela 1. Wzory na wyznaczenie potrzeb wodnych drzew owocowych w oparciu o zużycie wody z warstwy gleby; opracowanie własne na podstawie danych liczbowych Drupki (1976)

Table 1. Equations for fruit tree water needs determination on the base of the water use from a soil layer; own elaboration based on data of Drupka (1976)

L.p. Miesiąc	Równanie	Zakres średniej temperatury w danym miesiącu (°C)	Zakres potrzeb wodnych w okresie wegetacji (mm)
1			
Gleby o podłożu gliniastym lub pylastym (A)			
IV	$E_{tp} = 3,2885t + 16,269$	8÷20	45÷82
V	$E_{tp} = 0,1636t^2 - 1,5189t + 57,77$	8÷23	51÷110
VI	$E_{tp} = 0,248t^2 - 4,3224t + 82,587$	13÷25	67÷129
VII	$E_{tp} = 0,2872t^2 - 5,3197t + 95,779$	13÷25	74÷141
VIII	$E_{tp} = 0,1666t^2 - 0,487t + 25,455$	10÷25	45÷143
IX	$E_{tp} = 4,993t - 8,9056$	8÷19	30÷90
IV-IX	-	-	312÷695
Gleby o podłożu piaszczystym (B)			
2			
IV	$E_{tp} = 3,9313t + 19,615$	8÷20	54÷99
V	$E_{tp} = 0,2057t^2 - 2,082t + 70,901$	8÷23	62÷133
VI	$E_{tp} = 0,3274t^2 - 6,3349t + 109,16$	13÷25	81÷154
VII	$E_{tp} = 0,3716t^2 - 7,1213t + 124$	13÷25	93÷177
VIII	$E_{tp} = 0,1824t^2 - 0,6382t + 27,535$	10÷25	50÷158
IX	$E_{tp} = 4,993t - 8,9056$	8÷19	30÷90
IV-IX	-	-	370÷811

Objaśnienia:

t – średnia temperatura powietrza w danym miesiącu (°C)

E_{tp} – zużycie wody z warstwy o kontrolowanym uwilgotnieniu wg Drupki wyrażone jako suma miesięczna ewapotranspiracji potencjalnej drzew owocowych (mm)

Potrzeby wodne drzew sadowniczych według Pressa

Wzory na wyznaczenie potrzeb wodnych drzew owocowych na podstawie założeń Pressa pozwalają na obliczenie sumy niezbędnych opadów w poszczególnych miesiącach okresu wegetacji: IV-VIII dla wiśni, bądź IV-IX dla jabłoni, czereśni i gruszy oraz śliwy na trzech kategoriach gleb: glebie lekkiej, średniej i ciężkiej (tab. 3).

Tabela 2. Wzory na wyznaczenie potrzeb wodnych drzew owocowych w oparciu o opady optymalne wg Kemmera i Schulza; opracowanie własne na podstawie danych liczbowych z literatury (Słowik 1973; Dzieżyc 1988; Treder, Pacholak 2006; Rzekanowski 2009)

Table 2. Equations for fruit tree water needs determination on the base of optimal precipitation of Kemmer and Schulz; own elaboration based on data from literature (Słowik 1973; Dzieżyc 1988; Treder and Pacholak 2006; Rzekanowski 2009)

L.p.	Gatunek	Równanie	Zakres średniej temperatury okresu V-IX (°C)	Zakres wymaganej rocznej sumy opadów (mm)
1	Brzoskwinia	$P_{opt} = 60t - 460$	15÷17	440÷560
2	Czereśnia	$P_{opt} = 15t^2 - 411t + 3273$	14÷17	460÷620
3	Grusza	$P_{opt} = 70t - 480$	14÷17	500÷710
4	Jabłoń	$P_{opt} = 80t - 580$	14÷17	540÷780
5	Śliwa	$P_{opt} = -12,5t^2 + 468,5t - 3550,5$	14÷17	560÷800
6	Winorośl ¹	$P_{opt} = 7,5t^2 - 191,5t + 1589,5$	14÷17	380÷500
	Winorośl ²	$P_{opt} = 50t - 350$	15÷17	400÷500

Objaśnienia:

t – średnia temperatura powietrza w okresie maj-wrzesień (°C)

P_{opt} – potrzeby wodne wg Kemmera i Schulza wyrażone jako suma opadów rocznych (mm)

Winorośl¹ – wg danych liczbowych Dzieżyc (1988)

Winorośl² – wg danych liczbowych Słowika (1973)

Określanie wielkości opadów optymalnych dla drzew owocowych – a na ich podstawie niedoborów i nadmiarów opadów – jest bardzo trudne. Wielkość opadów optymalnych zależy bowiem od wielu czynników. Dzieżyc (1988) wymienia wśród nich takie, jak: potrzeby wodne danego gatunku lub odmiany roślin, przebieg temperatury, wielkość zapasu wody w glebie, ilość wody z podsiąku, wpływ powierzchniowy itp. Z tego względu wszelkie podawane wartości należy traktować jako przybliżone i koniecznie uwzględniać stosowne – dla konkretnych warunków – poprawki.

Tabela 3. Wzory na wyznaczanie potrzeb wodnych drzew sadowniczych w oparciu o opady optymalne wg Pressa; opracowanie własne na podstawie danych liczbowych z literatury (Żakowicz i in. 2009)

Table 3. Equations for fruit tree water needs determination on the base of optimal precipitation of Press; own elaboration based on data from literature (Żakowicz *et al.* 2009)

L.p.	Miesiąc	Równanie	Zakres średniej temperatury w danym miesiącu (°C)	Zakres potrzeb wodnych (mm)
Jabłoń				
1	IV	$P_{opt} = \mu (5t + 20)$	6÷10	50÷70
	V	$P_{opt} = \mu (5t + 5)$	11÷15	60÷80
	VI	$P_{opt} = \mu (5t)$	14÷18	70÷90
	VII	$P_{opt} = \mu (5t)$	16÷20	80÷100
	VIII	$P_{opt} = \mu (5t - 5)$	15÷19	70÷90
	IX	$P_{opt} = \mu (2,5t + 20)$	12÷16	50÷60
	IV-IX	-	-	380÷490
Czereśnia i grusza				
2	IV	$P_{opt} = \mu (2,5t + 30)$	6÷10	45÷55
	V	$P_{opt} = \mu (0,625t^2 - 12,5t + 116,88)$	11÷15	55÷70
	VI	$P_{opt} = \mu (2,5t + 30)$	14÷18	65÷75
	VII	$P_{opt} = \mu (5t - 20)$	16÷20	60÷80
	VIII	$P_{opt} = \mu (2,5t + 17,5)$	15÷19	55÷65
	IX	$P_{opt} = \mu (2,5t + 15)$	12÷16	45÷55
	IV-IX	-	-	325÷400
Wiśnia				
3	IV	$P_{opt} = \mu (2,5t + 25)$	6÷10	40÷50
	V	$P_{opt} = \mu (0,625t^2 - 12,5t + 106,88)$	11÷15	45÷60
	VI	$P_{opt} = \mu (2,5t + 30)$	14÷18	65÷75
	VII	$P_{opt} = \mu (5t - 10)$	16÷20	70÷90
	VIII	$P_{opt} = \mu (2,5t + 22,5)$	15÷19	60÷70
	IV-VIII	-	-	280÷345
Śliwa				
4	IV	$P_{opt} = \mu (5t + 20)$	6÷10	50÷70
	V	$P_{opt} = \mu (5t + 10)$	11÷15	65÷85
	VI	$P_{opt} = \mu (5t + 5)$	14÷18	75÷95
	VII	$P_{opt} = \mu (5t)$	16÷20	80÷100

L.p. Miesiąc	Równanie	Zakres średniej temperatury w danym miesiącu (°C)	Zakres potrzeb wodnych (mm)
VIII	$P_{opt} = \mu (5t + 5)$	15÷19	80÷100
IX	$P_{opt} = \mu (2,5t + 20)$	12÷16	50÷60
IV-IX	-	-	400÷510

Objaśnienia:

t – średnia temperatura powietrza w danym miesiącu (°C)

P_{opt} – potrzeby wodne wg Pressa wyrażone jako optymalna suma opadów miesięcznych (mm).

μ – współczynnik korekcyjny zależny od rodzaju gleby: $\mu = 1,2$ dla gleb lekkich (piaszczystych); $\mu = 1,0$ dla gleb średnich; $\mu = 0,8$ dla gleb ciężkich

Metoda współczynników roślinnych

Obliczanie ewapotranspiracji roślin w warunkach optymalnego uwilgotnienia gleby (potrzeb wodnych upraw nawadnianych) metodą współczynników roślinnych opartą na ewapotranspiracji wskaźnikowej (ET_o), uważane jest za optymalną metodę określania potrzeb wodnych roślin, a w konsekwencji – potrzeb nawodnień (Łabędzki i in. 1996).

W tej metodzie ewapotranspirację potencjalną danego gatunku drzewa owocowego (ET_p) oblicza się ze wzoru:

$$ET_p = k_c \times ET_o \quad (1)$$

gdzie:

ET_o – ewapotranspiracja wskaźnikowa (mm),

k_c – współczynnik roślinny (określany jako stosunek ewapotranspiracji pomierzonej w warunkach dostatecznego uwilgotnienia do ewapotranspiracji wskaźnikowej) (Łabędzki 2006).

Obecnie zaleca się powszechnie określanie ewapotranspiracji wskaźnikowej z użyciem wzoru Penmana-Monteitha. Mając jednak ograniczony dostęp do danych meteorologicznych, parowanie wskaźnikowe można policzyć także innymi wiarygodnymi metodami (Drupka 1986; Treder i in. 2010; Bogawski, Bednorz 2014). Dotychczas opracowano wiele takich fizyczno-empirycznych formuł do obliczenia ET_o (np. wzór Blaney-Criddle'a, Grabarczyka, Hargreavesa, Turca). Ewapotranspiracja obliczona różnymi wzorami – pomimo tego, że wyznaczono ją dla tych samych warunków – może się wyraźnie różnić wartościami bezwzględными, co podważa poszczególne metody wyznaczania ET_o oraz czyni je tym samym mniej lub bardziej wiarygodnymi (Grabarczyk, Żarski 1992). Cytowani autorzy, opierając się na wynikach porównania wartości ewapotranspiracji liczonej różnymi wzorami, wskazują na potrzebę większej ostrożności w zalecaniu wzoru Penmana do określania potrzeb wodnych roślin uprawnych. Widmoser (2009) (cyt. za Treder i in. 2010) wskazuje z kolei, że w niektórych warunkach pogodowych ET_o wyznaczone zalecaną przez FAO me-

tołą Penmana-Monteitha może osiągać błąd dochodzący nawet do 30 %. Trzeba także koniecznie zaznaczyć, że model Penmana wymaga pełnych danych meteorologicznych, co często utrudnia jego powszechne stosowanie. Wprowadzane w coraz szerszym zakresie do praktyki stacje meteorologiczne (wyznaczające automatycznie wartość ET_o) nie są jeszcze u nas powszechnie stosowane, m.in. ze względu na stosunkowo wysoką cenę. Z tych względów, przy ograniczonym dostępie do danych meteorologicznych, przydatnymi do szerszego zastosowania mogą być następujące modele: Tredera (<http://www.nawadnianie.inhort.pl/eto/26-eto-temp>), Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena (Treder i in. 2010), Hargreavesa w modyfikacji Bogawskiego i Bednorz (2014) bądź Blaney-Criddle'a w modyfikacji Żakowicza (2010).

Potrzeby wodne drzew sadowniczych według modelu Tredera
(<http://www.nawadnianie.inhort.pl/eto/26-eto-temp>; Treder i in. 2018)

W tej metodzie potrzeby wodne drzew owocowych szacowane są w trzech etapach:

1. Szacowanie ewapotranspiracji wskaźnikowej (ET_o).
2. Szacowanie ewapotranspiracji określonego gatunku (ET_R).
3. Szacowanie ewapotranspiracji określonego nasadzenia z uwzględnieniem wielkości drzew (ET_{R*}).

$$ET_o = \alpha \times T \quad (2)$$

ET_o – ewapotranspiracja wskaźnikowa (mm),

α – współczynnik wyznaczony empirycznie (tab. 4),

T – średnia temperatura dnia ($^{\circ}C$) liczona ze wzoru $T = \frac{T_{min} + T_{max}}{2}$,

gdzie: T_{min} – temperatura minimalna ($^{\circ}C$), T_{max} – temperatura maksymalna ($^{\circ}C$).

$$ET_R = k \times ET_o \quad (3)$$

ET_R – ewapotranspiracja określonego gatunku (mm),

k – współczynnik roślinny, przyjmowany dla danego gatunku i miesiąca (tab. 4).

$$ET_{R*} = w_p \times ET_R \quad (4)$$

gdzie:

w_p – współczynnik poprawkowy, odczytywany z wykresu w zależności od zacienienia gruntu przez korony drzew (%).

Wielkość współczynnika poprawkowego (w_p) wzrasta wraz ze wzrostem zacienienia gruntu przez korony drzew. Przykładowo – dla zacienienia równego 10, 20, 30, 40, 50 i 60% – współczynnik w_p wynosi odpowiednio około 28, 48, 65, 80, 90 i 98%.

Tabela 4. Współczynniki do wzorów na potrzeby wodne drzew owocowych według Tredera (<http://www.nawadnianie.inhort.pl/eto/26-eto-temp>)

Table 4. Coefficients to formulas for water needs of fruit trees according to Treder (<http://www.nawadnianie.inhort.pl/eto/26-eto-temp>)

Miesiąc	współczynnik α	Współczynnik roślinny k			
		czereśnia	grusza	jabłoń	wiśnia
IV	0,28	0,5	0,45	0,5	0,45
V	0,21	0,75	0,75	0,75	0,75
VI	0,19	1,1	1,05	1,1	1,0
VII	0,18	1,2	1,15	1,2	1,1
VIII	0,17	1,2	1,15	1,2	1,1
IX	0,16	1,15	1,1	1,15	0,9
X	0,15	0,9	0,85	0,9	0,8

Potrzeby wodne drzew sadowniczych według zmodyfikowanych modeli Hargreavesa oraz Blaney-Criddle'a

Model Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena (Treder i in. 2010):

$$ET_o = HC \cdot Ra \cdot (T_{\max} - T_{\min})^{HE} \left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) + HT \quad (5)$$

gdzie:

HC – współczynnik empiryczny autora = 0,0025,

Ra – radiacja ponad atmosferą (mm·dzień⁻¹),

T_{max} – temperatura maksymalna powietrza (°C),

T_{min} – temperatura minimalna powietrza (°C),

HE – współczynnik empiryczny autora = 0,5,

HT – współczynnik empiryczny autora = 16,8.

Treder i in. (2010) – stosując model Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena – uzyskali bardzo podobne (w odniesieniu do wzorcowych tj. Penmana-Monteitha) wartości ET_o. Autorzy ci zalecają stosowanie tego stosunkowo prostego modelu w indywidualnych gospodarstwach bądź lokalnych serwisach internetowych. Do wyznaczenia potrzeb wodnych drzew owocowych w przypadku tego modelu wystarczą bowiem tylko codzienne pomiary maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza oraz współczynniki roślinne k (tab. 5).

Tabela 5. Współczynniki roślinne k dla sadów i winnic w pełni rozwoju według Doorenbosa i Pruitta (1977) i Żakowicza i in. (2009)**Table 5.** Crop coefficients k for full grown fruit trees and grapes according to Doorenbos and Pruitt (1977) and Żakowicz et al. (2009)

Gatunek	Miesiąc	Gleba bez okrywy roślinnej*		Gleba z okrywą roślinną**	
		wilgotny	suchy	wilgotny	suchy
Czereśnie Jabłonie Wiśnie	IV	0,45	0,40	0,50	0,45
	V	0,55	0,60	0,75	0,85
	VI	0,75	0,85	1,00	1,15
	VII	0,85	1,00	1,10	1,25
	VIII	0,85	1,00	1,10	1,25
	IX	0,80	0,95	1,10	1,20
	X	0,60	0,70	0,85	0,95
	IV	0,45	0,40	0,50	0,45
	V	0,50	0,55	0,70	0,80
	VI	0,65	0,75	0,90	1,05
Brzoskwinie Grusze Morele Śliwy	VII	0,75	0,90	1,00	1,15
	VIII	0,75	0,90	1,00	1,15
	IX	0,70	0,70	0,95	1,10
	X	0,55	0,65	0,75	0,85
Winorośl***	V	-	-	0,50	0,45
	VI	-	-	0,65	0,70
	VII	-	-	0,75	0,85
	VIII	-	-	0,80	0,90
	IX	-	-	0,75	0,85
	X	-	-	0,65	0,70

* – wielkości k odnoszą się do częstości zwilżania przez deszcz lub nawadniania od 2 do 4 tygodni. Przy większej częstotliwości opadów należy zwiększyć współczynniki w kwietniu, a w okresie maj-październik przyjmować współczynniki dla gleby z okrywą roślinną.

** – wielkości k przy dużej częstotliwości opadów wzrastają. Dla młodych sadów, w których stopień przykrycia gleby wynosi 20-50%, współczynniki k należy odpowiednio zmniejszyć o 10-15% lub 5-10%.

*** – pokrycie gleby w granicach 40-50% w środku sezonu. Winorośl uprawiana na obszarach z mroźną zimą (silne mrozy); pierwsze liście – na początku maja, zbiory – w połowie września.

Bogawski i Bednorz (2014) porównując 17 różnych metod określania ewapotranspiracji wskaźnikowej (ET_o), zaproponowali dla warunków Polski własną modyfikację wzoru Hargreavesa. ET_o według zmodyfikowanego – dla warunków Polski – przez Bogawskiego i Bednorz wzoru Hargreavesa (2014):

$$ET_o = 0,408 \cdot 0,001 (T_a + 17,0)(T_{max} - T_{min})^{0,724} \cdot Ra \quad (6)$$

gdzie:

T_a – temperatura średnia powietrza (°C),

T_{max} – temperatura maksymalna powietrza (°C),

T_{min} – temperatura minimalna powietrza (°C),

Ra – radiacja ponad atmosferą ($MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$).

Promieniowanie słoneczne docierające do atmosfery ziemi (Ra) jest stałe dla określonego czasu i miejsca na ziemi; jest ono odczytywane z odpowiednich tabel. Bogawski i Bednorz (2014) zdecydowanie zalecają stosowanie tego wzoru dla warunków Polski w sytuacji, gdy dostępne są tylko dane temperatury powietrza. Warto zaznaczyć, że w przeprowadzonych przez cytowanych autorów obliczeniach, spośród 17 porównywanych metod określania ewapotranspiracji, zmodyfikowany przez nich model Hargreavesa jako jedyny generował wyniki nie różniące się istotnie od referencyjnej metody Penmana-Monteitha w każdym rozpatrywanym miesiącu w okresie od kwietnia do października. Warto podkreślić, że jest to okres przyjmowany jako wegetacyjny dla drzew owocowych, dla którego wyznacza się potrzeby wodne z wykorzystaniem współczynników roślinnych (tab. 5).

ET_o według zmodyfikowanego modelu Blaney-Criddle'a

ET_o według wzoru Blaney-Criddle'a zmodyfikowanego (dla warunków Polski, dla okresu IV-X) przez Żakowicza (2010):

$$ET_o = n \cdot [p \cdot (0,437 \cdot t + 7,6) - 1,5] \quad (7)$$

gdzie:

n – liczba dni w miesiącu,

p – współczynniki parowania według Doorenbosa i Pruitta (1977) dla miesięcy i szerokości geograficznej wyznaczone z tabel (tab. 6),

t – średnia miesięczna temperatura powietrza (°C).

Żakowicz (2010) korzystając ze zmodyfikowanego dla warunków Polski wzoru Blaney-Criddle'a – oraz wyznaczonych w badaniach terenowych dla poszczególnych miesięcy współczynników roślinnych – określił ewapotranspirację potencjalną bzu czarnego, czeremchy, klonu jesionolistnego oraz robinii akacjowej na terenie rekultywowanym. Możliwe jest jednak także zastosowanie tego zmodyfikowanego, prostego wzoru – przy wykorzystaniu współczynników roślinnych dla okresu IV-X zawartych w tabeli 5 – do określenia potrzeb wodnych drzew owocowych w warunkach Polski (Doorenbos, Pruitt 1977; Żakowicz i in. 2009).

Trzeba podkreślić, że potrzeby wodne drzew owocowych nie mogą być rozpatrywane w oderwaniu od cech gatunkowych, fazy rozwojowej, wieku,

sposobu uprawy, wilgotności gleby i pogody. Przykładowo, Treder i Pacholak (2006) wskazują, że potrzeby wodne drzew owocowych zależą nie tylko od warunków glebowych i pogodowych (takich, jak: temperatura, opady, wilgotność powietrza, prędkość wiatru, nasłonecznienie), ale również od cech gatunkowych roślin, fazy rozwojowej, systemu uprawy gleby, zagęszczenia roślin, zastosowanej podkładki oraz sposobu prowadzenia drzew.

Tabela 6. Średnie wartości współczynników parowania (p) dla wybranych miesięcy i szerokości geograficznej według Doorenbosa i Pruitta (1977) (Żakowicz 2010)

Table 6. Average value of evaporation coefficients (p) for chosen months and latitude according to Doorenbos and Pruitt (1977) (Żakowicz 2010)

Szerokość geograficzna N (°)	Miesiąc						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
50	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24
52	0,31	0,35	0,37	0,36	0,33	0,28	0,24
54	0,31	0,36	0,38	0,37	0,33	0,28	0,23

PODSUMOWANIE

W pracy – na podstawie danych liczbowych, wzorów oraz innych informacji w dostępnej literaturze krajowej – opracowano i przedstawiono równania, które mogą być pomocne do wyznaczania potrzeb wodnych drzew owocowych w Polsce w oparciu wyłącznie o temperaturę powietrza. Wykorzystano tu oczywistą zależność, że wraz ze wzrostem temperatury wzrasta ewapotranspiracja i – w konsekwencji – potrzeby wodne roślin sadowniczych.

Wzory na wyznaczenie potrzeb wodnych według liczb Drupki pozwalają na obliczenie potrzeb wodnych drzew owocowych w poszczególnych miesiącach okresu wegetacji (IV-IX) dla dwóch kategorii gleb – o podłożu zwięzłym i o podłożu piaszczystym.

Wzory na wyznaczenie potrzeb wodnych drzew owocowych na podstawie założeń Kemmera i Schulza pozwalają na obliczenie sumy niezbędnych opadów rocznych (I-XII) dla następujących gatunków: brzoskwinia, czereśnia, grusza, jabłoń, śliwa i winorośl. Zakłada się w tej metodzie, że co najmniej 50% opadów przypada na okres V-IX.

Wzory na wyznaczenie potrzeb wodnych drzew owocowych na podstawie założeń Pressa pozwalają na obliczenie sumy niezbędnych opadów w poszczególnych miesiącach okresu wegetacji: IV-VIII dla wiśni, bądź IV-IX dla jabłoni, czereśni i gruszy oraz śliwy na trzech kategoriach gleb: glebie lekkiej, średniej i ciężkiej.

Wzór na ewapotranspirację wskaźnikową podawany przez Tredera, z wykorzystaniem współczynnika α oraz dostosowanych do tego równania współczynników roślinnych k pozwala wyznaczyć ewapotranspirację czereśni, gruszy, jabłoni i wiśni w okresie IV-X.

Wzory na ewapotranspirację wskaźnikową według Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena oraz Hargreavesa w modyfikacji Bogawskiego i Bednorz, a także wzór Blaney-Criddle'a w modyfikacji Żakowicza, z wykorzystaniem współczynników roślinnych k według Doorenbosa i Pruitta, pozwalają wyznaczyć ewapotranspirację: brzoskwini, czereśni, gruszy, jabłoni, moreli, śliwy i wiśni w okresie IV-X oraz ewapotranspirację winorośli w okresie V-X.

Zestawienie warunków klimatycznych – w szczególności termiczno-opadowych – danego rejonu Polski z potrzebami wodnymi określonymi za pomocą opracowanych wzorów, może być pomocne w szacunkowej ocenie niedoborów opadów dla drzew owocowych w stosunku do tak wyznaczonych potrzeb.

Przedstawione wzory mogą być także pomocne w oszacowaniu potrzeb nawadniania sadów (i winnic) w warunkach Polski i w podejmowaniu decyzji o lokalizacji urządzeń nawodnieniowych oraz ewentualnym stosowaniu nawodnień w sadach i winnicach na obszarze Polski.

LITERATURA

Bogawski, P., Bednorz, W. (2014). *Comparison and validation of selected evapotranspiration models for conditions in Poland (Central Europe)*. Water Resour Manage, 28: 5021-5038.

Doorenbos, J., Pruitt, W.O. (1977). *Guidelines for predicting crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 24.

Drupka, S. (1976). *Techniczna i rolnicza eksploatacja deszczowni*. Warszawa: PWRiL, 1-310.

Drupka, S. (1986). *Nawodnienia deszczowniane i kropłowe*. W: Podstawy melioracji rolnych (pr. zbior. pod red. P. Prochala), Warszawa: PWRiL, 1: 449-620.

Dzieżyc, J. (1988). *Rolnictwo w warunkach nawadniania*. Warszawa: PWN, 1-415.

Grabarczyk, S., Żarski, J. (1992). *Próba statystycznej weryfikacji niektórych wzorów określających ewapotranspirację potencjalną*. Zesz. Nauk. ATR 180, Rolnictwo 32, 169-175.

<http://www.nawadnianie.inhort.pl/eto/26-eto-temp>.

Łąbędzki, L. (2006). *Susze rolnicze – Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji*. Wydawnictwo IMUZ, Falenty, 1-107.

Łabędzki, L., Szajda, J., Szuniewicz, J. (1996). *Ewapotranspiracja upraw rolniczych – terminologia, definicje, metody obliczania. Przegląd stanu wiedzy*. Wyd. IMUZ Falenty, Mat. Inf., 33: 1-15.

Ostromięcki, J. (1973). *Podstawy melioracji nawadniających*. Warszawa: PWN, 1-450.

Rzekanowski, C. (2009). *Kształtowanie się potrzeb nawodnieniowych roślin sadowniczych w Polsce*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3: 19-27.

Słowik, K. (1973). *Deszczowanie roślin sadowniczych*. Warszawa: PWRiL, 1-129.

Treder, W., Pacholak, E. (2006). *Nawadnianie roślin sadowniczych*. W : Nawadnianie roślin (pr. zbior. pod red. S. Karczmarczyka i L. Nowaka), Poznań: PWRiL, 333-365.

Treder, W., Wójcik, K., Żarski, J. (2010). *Wstępna ocena możliwości szacowania potrzeb wodnych roślin na podstawie prostych pomiarów meteorologicznych*. Zesz. Nauk. IsiK, (18): 143-153.

Treder, W., Klankowski, K., Wójcik, K. (2018). *A new approach to the method of drawing the Gauss-Walter climate diagram*. Meteorology Hydrology and Water Management, 6 (2): 1-7.

Żakowicz, S. (2010). *Podstawy technologii nawadniania rekultywowanych składowisk odpadów komunalnych*. Wyd. ŚGGW, Rozprawy Naukowe i Monografie, 1-95.

Żakowicz, S., Hewelke, P., Gnatowski, T. (2009). *Podstawy infrastruktury technicznej w przestrzeni rolniczej*. Warszawa: Wydawnictwo ŚGGW, 1-192.

prof. dr hab. Stanisław Rolbiecki

UTP w Bydgoszczy

Katedra Przyrodniczych Podstaw Rolnictwa i Ogrodnictwa

Bernardyńska 6

85-029 Bydgoszcz

E-mail: rolbs@utp.edu.pl

Wpłynęło: 27.03.2018

Akceptowano do druku : 15.04.2018