

Wpłynęło 11.08.2017 r.  
Zrecenzowano 21.09.2017 r.  
Zaakceptowano 24.10.2017 r.

A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

# ZRÓŻNICOWANIE EWAPOTRANSPIRACJI NIEKTÓRYCH GATUNKÓW ROŚLIN UPRAWNYCH W WARUNKACH RÓŻNEGO NAWOŻENIA

**Franciszek CZYŻYK**<sup>ABCD,F</sup>,  
**Aleksandra STEINHOFF-WRZEŚNIEWSKA**<sup>BDEF</sup>

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Dolnośląski Ośrodek Badawczy we Wrocławiu

## Streszczenie

W pracy wykazano zależność ewapotranspiracji rzeczywistej roślin od wielkości dawek i rodzaju stosowanych nawozów. Wielkość ewapotranspiracji określono na podstawie badań lizymetrycznych, przeprowadzonych w okresie od 1 IV 2002 r. do 31 VII 2007 r. W kolejnych latach lizymetry obsiane były mieszanką traw, kukurydzą, burakami cukrowymi, gorczycą białą, pszenżytem i rzepakiem ozimym. W celu zbadania wpływu nawożenia na wielkość infiltracji i ewapotranspiracji zastosowano wariant bez nawożenia, dwa warianty nawożenia organicznego kompostem: K1 – 10 g N·m<sup>-2</sup> i K2 – 15 g N·m<sup>-2</sup> oraz dwa warianty nawożenia mineralnego: NPK1 i NPK2 z równorzędnymi dawkami N w postaci saletry amonowej oraz PK w postaci superfosfatu i soli potasowej. Do obliczenia ewapotranspiracji rzeczywistej na podstawie pomiarów lizymetrycznych zastosowano wzór na infiltrację efektywną. Otrzymane wyniki wykazały, że nawożenie gleby jest czynnikiem zwiększającym ewapotranspirację rzeczywistą roślin uprawnych. Ze zwiększaniem dawek azotu występuje tendencja zwiększania się ewapotranspiracji, a wpływ na wielkość ewapotranspiracji ma nie tylko wielkość dawek azotu, ale także rodzaj nawozu, w którym zostały zastosowane. Ewapotranspiracja roślin uprawnych nawożonych kompostem była większa niż w przypadku ich nawożenia równorzędnymi dawkami nawozów w formie mineralnej.

**Słowa kluczowe:** badania lizymetryczne, ewapotranspiracja, infiltracja, nawożenie organiczne i mineralne, opady atmosferyczne

---

**Do cytowania For citation:** Czyżyk F., Steinhoff-Wrześniewska A. 2017. Zróżnicowanie ewapotranspiracji niektórych gatunków roślin uprawnych w warunkach różnego nawożenia. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 17. Z. 4 (60) s. 25–36.

## WSTĘP

Ewapotranspiracja jest jednym z głównych składników bilansu wodnego. Stanowi też podstawę do określenia potrzeb wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych. W praktyce i literaturze wyróżnione są dwa rodzaje ewapotranspiracji, mianowicie ewapotranspiracja wskaźnikowa – potencjalna oraz rzeczywista. Ewapotranspiracja wskaźnikowa określa ilość wody wyparowanej do atmosfery w warunkach wystarczającego (nieograniczonego) dostępu do wody, natomiast ewapotranspiracja rzeczywista wyraża faktyczną wielkość parowania w istniejących (rzeczywistych) warunkach meteorologicznych, biologicznych i glebowo-wodnych danego terenu. Według ŁABĘDZKIEGO i in. [2012], ewapotranspiracja wskaźnikowa jest bardzo ważnym parametrem agrometeorologicznym określającym potencjalne możliwości parowania. Różnica między ewapotranspiracją wskaźnikową i opadem atmosferycznym wskazuje na potencjalny niedobór lub nadmiar opadu. Znajomość ewapotranspiracji potencjalnej i rzeczywistej jest niezbędna do określenia potrzeb wodnych roślin w danych warunkach klimatycznych [BOUCHET 1963].

Wielkości ewapotranspiracji wskaźnikowej (potencjalnej) obliczane są zwykle metodami pośrednimi opartymi na licznych wzorach i formułach empirycznych. Wielkości ewapotranspiracji potencjalnej określane różnymi metodami są także bardzo różne [BEN MANSOUR, KORICHI 2013]. Obecnie najczęściej stosowaną i zalecaną metodą określania ewapotranspiracji wskaźnikowej jest metoda Penmana-Monteitha [GAŚIOREK i in. 2008; KASPERSKA-WOŁOWICZ, ŁABĘDZKI 2004; ŁABĘDZKI i in. 2012; ZOTARELLI i in. 2010]. Ewapotranspiracja rzeczywista określana jest metodami bezpośrednimi, z zastosowaniem różnego typu ewaporometrów glebowych. Ewaporometry glebowe przystosowywane mogą być do mierzenia ewapotranspiracji wybranych gatunków np. roślin energetycznych – model WSMT [ŻYROMSKI i in. 2012a, b]. Ewapotranspiracja rzeczywista określana jest też na podstawie zdjęć satelitarnych [DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA 1995] lub bezpośrednich pomiarów głównych składników bilansu wodnego w lizymetrach.

Celem pracy było wykazanie zależności wielkości ewapotranspiracji niektórych roślin uprawnych od rodzaju nawozów i wielkości ich dawek. Przyjęto założenie, że w zależności od zastosowanego nawożenia (organicznego lub mineralnego) wielkości ewapotranspiracji roślin będą różne.

## WARUNKI I METODY BADAŃ

Badania lizymetryczne przeprowadzono w okresie od 1 IV 2002 r. do 31 VII 2007 r. na stacji badawczej Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego w Kamieńcu Wrocławskim, położonej bezpośrednio przy wschodniej granicy Wrocławia. Lizymetry wypełnione były piaskiem słabo gliniastym, zawierającym 13% części zie-

mistych (frakcja <0,02 mm), 24,8% części pyłowych (0,02–0,1 mm) i 62,2 % piasku (0,1–1,0 mm). Glebę lizymetrów nawożono dwoma rodzajami nawozów (kompostem i nawozami mineralnymi). Warunki w lizymetrach były zbliżone do naturalnych warunków terenu użytkowanego rolniczo. Lizymetry o średnicy 100 cm i głębokości 130 cm, z płodozmianowym użytkowaniem gleby, były całkowicie zanurzone w gruncie. W celu upodobnienia warunków badań do warunków terenu użytkowanego rolniczo zastosowano w lizymetrach płodozmian roślin uprawnych. W kolejnych latach badań lizymetry obsiane były mieszanką traw, kukurydzą, burakami cukrowymi, gorczycą białą, pszenżytem i rzepakiem ozimym. W celu zbadania wpływu nawożenia na wielkość infiltracji i ewapotranspiracji zastosowano wariant „0” – bez nawożenia, dwa warianty nawożenia organicznego kompostem: K1 – 10 g N·m<sup>-2</sup> i K2 – 15 g N·m<sup>-2</sup> oraz dwa warianty nawożenia mineralnego: NPK1 i NPK2 z równorzędnymi dawkami N w postaci saletry amonowej oraz PK w postaci superfosfatu i soli potasowej. Wszystkie warianty wprowadzone zostały w trzech powtórzeniach (łącznie 15 lizymetrów). Pomiarów rozpoczęto w ostatnich dniach marca 2002 r. w warunkach pełnej wilgotności gleby (moment zaniku odcieków), a zakończono w końcu lipca 2007 r. w takich samych warunkach wilgotnościowych. W takim przypadku w rozchodzie wód opadowych z całego okresu badań nie uwzględnia się objętości wody zatrzymanej w glebie ( $R_p - R_k = 0$ ). W ten sam sposób postępowano w przypadku pomiarów w poszczególnych okresach wegetacyjnych roślin. Ewapotranspiracja poszczególnych gatunków roślin obliczana została dla okresów od ich wysiewu do zbioru. Jedynie dla traw wysianych dwa lata wcześniej przed rozpoczęciem badań, ewapotranspirację obliczono dla okresu IV–XI.

Do obliczenia ewapotranspiracji rzeczywistej (*ETR*) na podstawie pomiarów lizymetrycznych wykorzystano wzór na infiltrację efektywną [CZYŻYK, ŚWIERKOT 2017]. Po jego przekształceniu:

$$ETR = P - IE - S - R \quad (1)$$

gdzie:

*P* = opad atmosferyczny,

*IE* = infiltracja efektywna,

*S* = spływ powierzchniowy,

*R* = woda związana siłami molekularnymi w glebie.

W lizymetrach spływ powierzchniowy nie występuje, a więc może zostać pominięty. W celu obliczania wielkości ewapotranspiracji w danym okresie, według powyższego wzoru musimy znać sumę opadów z tego okresu oraz zmierzyć wielkość infiltracji i stan wilgotności gleby (zasób wody glebowej) na początku okresu pomiarów (*R<sub>p</sub>*) i w momencie jego zakończenia (*R<sub>k</sub>*). We wzorze wartością *R* będzie różnica wartości początkowej i końcowej ( $R = R_p - R_k$ ). W przypadku, gdy *R* będzie wartością ujemną, powyższy wzór przybierze postać:

$$ETR = P - IE + R \quad (2)$$

Ze względu na opóźnienia w pojawianiu się odcieków z gleby, w stosunku do wystąpienia opadów atmosferycznych, nie można tą metodą określać ewapotranspiracji dla krótkich okresów, np. kilkudniowych.

W celu statystycznej oceny istotności różnic pomiędzy wielkościami ewapotranspiracji, w badanych wariantach nawożenia, zastosowano program Statistica 10. Istotność różnic pomiędzy średnimi wielkościami ewapotranspiracji porównywano następującymi parami wariantów: „0” z każdym wariantem nawożenia oraz NPK1 z K1, NPK2 z K2, NPK1 z NPK2 i K1 z K2.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Poszczególne lata badań różniły się znacznie pod względem wielkości opadów atmosferycznych (tab. 1). W całym okresie badań wystąpiły lata suche, mokre jak i przeciętne pod względem warunków opadowych.

Ocenę warunków opadowych (wilgotnościowych) przeprowadzono stosując kryteria zdefiniowane przez KACZOROWSKĄ [1962], według których poszczególne lata są:

- przeciętne, jeśli roczna suma opadów mieści się w granicach 90–110% średniej sumy wieloletniej;
- suche, gdy suma opadu stanowi 75–90% średniej sumy wieloletniej;
- bardzo suche, gdy suma opadu jest mniejsza niż 75% średniej wieloletniej;

**Tabela 1.** Opady (mm) na stacji badawczej ITP w Kamieńcu Wrocławskim w latach 2002–2007

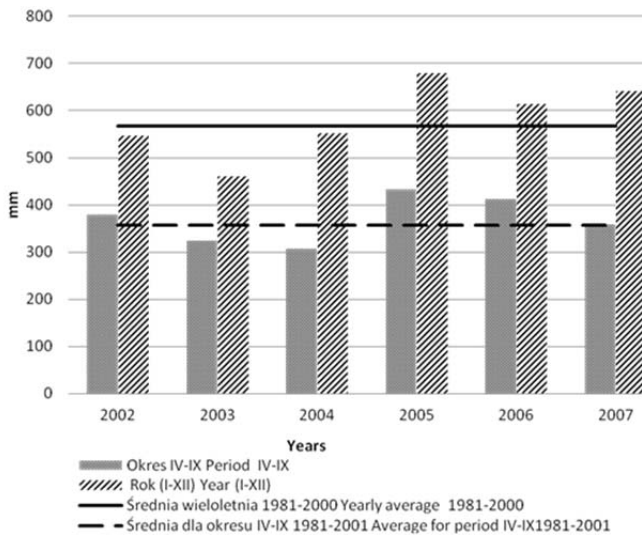
**Table 1.** Precipitations (mm) at the Research Station of the Institute of Technology and Life Sciences in Kamieniec Wrocławski in the years 2002–2007

Lata Years	Opady w miesiącu , mm Precipitation in months, mm												Roczna su- ma opadów Annual pre- cipitation I–XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2002	23,8	59,2	15,7	32,9	37,1	68,2	49,5	78,7	52,2	61,2	52,3	16,2	547,0
2003	40,0	2,8	18,7	11,9	80,5	24,3	58,8	55,3	42,4	51,5	27,8	47,3	461,3
2004	31,2	60,6	56,6	24,5	35,2	40,5	88,5	50,8	21,8	45,6	81,4	15,4	552,1
2005	46,2	51,2	11,5	27,0	150,8	46,8	122,6	54,4	24,9	6,7	31,0	106,4	679,5
2006	28,9	43,7	26,1	54,2	21,9	56,6	12,0	179,3	20,3	68,4	65,6	36,7	613,7
2007	64,6	53,3	55,5	3,6	57,6	79,5	124,1	42,0	51,6	26,5	56,0	27,9	642,0
Średnia Average	39,1	45,1	30,7	25,7	63,9	52,7	75,9	76,8	35,5	43,3	52,4	41,7	582,6

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

- mokre, gdy suma opadu stanowi 110–125% średniej wieloletniej;
- bardzo mokre, gdy suma opadu jest większa niż 125% średniej wieloletniej.

Z rysunku 1, opracowanego według tych kryteriów wynika, że w okresie badań lata 2002, 2004 i 2006 były przeciętne pod względem warunków opadowych, natomiast 2003 r. był suchy, a lata 2005 i 2007 mokre. Półrocze wiosenno-letnie (IV–IX) było przeciętne w latach 2002–2003 i w 2007r., suche w 2004r. oraz mokre w latach 2005 i 2006. W poszczególnych latach badań występowały okresy suche z małą ilością opadów oraz miesiące z bardzo dużymi opadami, jak np. maj, lipiec i grudzień 2005 oraz sierpień 2006 r.



Rys. 1. Zmienność opadów w latach 2002–2007 w stosunku do lat 1981–2000 we Wrocławiu; źródło: wyniki własne

Fig. 1. Precipitation variability in the years 2002–2007 in relation to the years 1981–2000 in Wrocław; source: own study

Odcieki z lizymetrów, czyli część opadów atmosferycznych przenikająca glebę piaszczystą na głębokość 130 cm, występowały z bardzo dużą zmiennością (tab. 2).

Zależne były nie tylko od wielkości opadów, ale również od pory roku i stanu wilgotnościowego gleby. Pojawiały się ze zmiennym opóźnieniem w stosunku do wystąpienia intensywnych opadów. W warunkach przeprowadzonych badań opóźnienie wynosiło od kilkunastu godzin do dwóch dni od momentu wystąpienia opadów, w zależności od poprzedzającego je stanu uwilgotnienia gleby. W miesiącach zimowych, kiedy opady były w postaci śniegu, a gleba była zamrznięta, opóźnienia zależne były od okresu trwania takich warunków. Stąd też największa infiltracja występowała w marcu, po roztopach wiosennych, mimo że marzec nie był miesiącem z największymi opadami atmosferycznymi.

**Tabela 2.** Miesięczne i roczne objętości odcieków ( $\text{dm}^3$ ) z lizymetrów w poszczególnych wariantach nawożenia w okresie IV 2002–VII 2007 (średnie z 3 powtórzeń)

**Table 2.** The monthly and annuals volume of effluents ( $\text{dm}^3$ ) from lysimeters in particular fertilization variants in the period of April 2002–July 2007 (average for three repetitions)

Lata Years	Objętość odcieków Amount of leachate												I–XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Wariant 0 (bez nawożenia)</b>													
<b>Variant 0 (without fertilization)</b>													
2002	–	–	–	16,0	12,1	18,9	2,2	20,4	5,3	1,8	15,0	14,0	105,7
2003	27,4	7,6	17,8	5,2	21,7	3,8	2,5	0,0	0,0	1,9	0,4	18,0	106,3
2004	35,7	31,5	30,6	14,6	7,6	1,9	4,8	6,9	1,3	0,0	17,8	3,2	155,9
2005	14,4	11,2	19,1	4,5	40,5	17,5	15,9	15,5	5,5	0,0	0,0	42,7	186,8
2006	9,9	22,9	36,6	3,9	4,8	1,3	0,0	22,3	0,0	10,2	47,5	21,3	180,7
2007	20,0	31,6	32,0	0,6	0,8	0,0	15,0	–	–	–	–	–	100,0
Średnia Average	21,5	21,0	27,2	7,5	14,6	7,2	6,7	13,0	2,4	2,8	16,1	19,8	139,2
<b>Wariant K1 (nawożenie organiczne, kompost – <math>10 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-2}</math>)</b>													
<b>Variant K1 (organic fertilization – compost – <math>10 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-2}</math>)</b>													
2002	–	–	–	5,1	6,8	3,4	1,6	1,0	0,0	0,0	10,6	18,7	47,2
2003	20,0	9,0	9,0	3,2	17,6	3,8	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	18,9	84,0
2004	31,2	31,8	33,8	11,0	6,4	3,2	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	123,7
2005	9,4	13,1	20,4	3,1	43,3	26,1	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	21,7	142,8
2006	7,6	11,8	24,5	4,1	1,1	0,0	0,0	5,7	5,0	6,4	39,0	15,9	121,1
2007	20,0	29,9	30,6	0,5	0,6	0,0	0,0	–	–	–	–	–	81,6
Średnia Average	17,6	19,1	23,7	4,5	12,6	7,3	2,6	1,3	1,0	1,3	9,9	15,7	100,1
<b>Wariant K2 (nawożenie organiczne, kompost – <math>15 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-2}</math>)</b>													
<b>Variant K2 (organic fertilization – compost – <math>15 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-2}</math>)</b>													
2002	–	–	–	6,1	5,4	2,8	0,5	0,0	0,0	0,0	10,6	11,5	36,9
2003	17,7	9,0	8,9	3,4	18,3	2,7	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,9	77,9
2004	33,8	28,0	32,5	10,3	3,8	2,9	3,8	0,0	0,0	0,0	3,3	1,7	120,1
2005	8,5	14,3	21,7	2,5	35,0	25,5	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	17,6	131,5
2006	9,3	13,6	25,1	2,9	1,0	0,0	0,0	5,1	5,1	5,7	33,8	10,4	112,0
2007	17,8	29,6	29,9	0,5	0,3	0,0	0,0	–	–	–	–	–	78,1
Średnia Average	17,4	18,9	23,6	4,3	10,6	5,6	2,1	1,0	1,0	1,1	9,5	11,4	92,8
<b>Wariant NPK1 (nawożenie mineralne – <math>10 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-2}</math>)</b>													
<b>Variant NPK1 (mineral fertilization – <math>10 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-2}</math>)</b>													
2002	–	–	–	14,0	7,9	2,5	0,6	0,3	0,0	0,0	11,0	21,0	57,3
2003	18,5	6,6	9,3	5,2	19,1	3,8	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	19,1	84,1
2004	34,4	32,5	33,6	10,4	8,9	3,2	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	128,7
2005	10,6	15,9	21,0	4,4	43,3	26,4	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	23,6	152,5
2006	8,5	13,4	26,8	4,4	1,1	0,0	0,0	7,6	7,0	7,5	44,2	18,7	139,2

cd. tab. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2007	21,6	32,0	32,6	0,6	0,5	0,0	0,0	–	–	–	–	–	87,3
Średnia Average	18,7	20,1	24,7	6,5	13,5	6,0	2,3	1,6	1,4	1,5	11,0	17,0	108,2
<b>Wariant NPK2 (nawożenie mineralne –15 g N·m<sup>-2</sup>)</b>													
<b>Variant NPK2 (mineral fertilization – 15 g N·m<sup>-2</sup>)</b>													
2002	–	–	–	9,6	8,9	5,5	0,4	0,8	0,8	0,0	12,1	15,2	53,3
2003	18,5	9,3	9,3	3,2	19,1	2,9	2,2	0,0	0,0	0,0	0,5	17,3	82,3
2004	34,4	29,9	31,0	9,6	3,8	1,9	4,1	1,5	0,0	0,0	0,0	3,2	119,4
2005	9,9	11,7	23,6	4,5	38,7	24,8	6,6	0,5	0,6	0,0	0,0	19,9	140,8
2006	10,4	17,7	25,5	2,8	1,3	2,3	0,0	5,1	6,0	7,3	35,7	16,6	130,7
2007	19,5	30,6	30,8	0,6	0,3	0,0	0,0	–	–	–	–	–	82,0
Średnia Average	18,5	19,8	24,0	5,1	12,0	6,2	2,2	1,6	1,5	1,5	9,7	14,4	121,5

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

W warunkach badań lizymetrycznych, gdzie nie ma spływu powierzchniowego a pomiary rozpoczęto i zakończono w momencie takich samych warunków wilgotnościowych gleby, jedynymi elementami rozchodu wód opadowych pozostają ewapotranspiracja i infiltracja efektywna. Są to elementy bardzo zmienne w czasie. W niektórych okresach, jak np. od sierpnia do października, we wszystkich wariantach nawożenia infiltracja praktycznie nie występowała (tab. 2), a opady atmosferyczne prawie w całości były zużyte w procesie ewapotranspiracji.

Wielkość ewapotranspiracji w okresach wegetacji poszczególnych gatunków roślin, obliczona na podstawie opadów atmosferycznych i infiltracji w tych okresach, podana jest w tabeli 3. Ewapotranspiracja wszystkich gatunków roślin, w wariantach z nawożeniem, jest wyraźnie większa niż w wariantcie „0” (bez nawożenia). Wystąpiła też tendencja zwiększania się ewapotranspiracji wraz ze zwiększaniem dawki azotu. Nawożenie jest czynnikiem zwiększającym plonowanie roślin, a tym samym ewapotranspirację. Ścisłą zależność między wielkością plonów roślin a ewapotranspiracją wykazali m.in. ŁABĘDZKI [1997], MLADENOVA i VARLEV [2007], MISZTAŁ [2000], SZAJDA [2006].

Wyniki zestawione w tabelach 3 i 4 wykazują zależność ewapotranspiracji nie tylko od dawek azotu, ale także od rodzaju nawozu, w którym te dawki dostarczano do gleby. Przy równorzędnych dawkach azotu dostarczanych do gleby w formie saletry oraz kompostu, wyraźnie większa była ewapotranspiracja w wariantach z nawożeniem kompostem. W kompoście dostarczana jest do gleby substancja organiczna, która zwiększa zatrzymywanie wody w glebie, a tym samym umożliwia większe jej wykorzystanie przez rośliny. Wyniki badań wykazały, że w rozchodzie wód opadowych zdecydowanie największy udział ma ewapotranspiracja (tab. 4, rys. 2). Największa ewapotranspiracja wystąpiła w półroczu wiosenno-letnim

**Tabela 3.** Ewapotranspiracja (mm) z upraw różnych gatunków roślin w zależności od wariantów nawożenia**Table 3.** Evapotranspiration (mm) of different plant species crops depending on fertilizer variants

Roślina Plant	Okres Season	Suma opadów w okresie Sum of precipitation in the season	Ewapotranspiracja w wariacie nawożenia Evapotranspiration in fertilization variants					Istotność różnic w wariantach Significance of differences in variants	
			„0”	NPK1	NPK2	K1	K2	dla „0” i pozostałych for „0” and for other	między wariantami z nawożeniem among variants with fertilization
Trawy Grass	IV–XI 2002	432,1	340,4	391,1	395,0	403,6	411,4	**	*
Kukurydza Corn	V–X 2003	312,8	282,9	287,4	288,6	288,9	289,8	*	N
Buraki cukrowe Sugar beet	V–X 2004	282,4	259,9	267,1	371,1	269,6	271,9	**	*
Gorzycza biała Yellow mustard	VI–VIII 2005	223,8	174,9	190,1	191,9	192,0	193,9	**	N
Pszenżyto Triticosecale	X 2005– VII 2006	787,5	265,4	309,7	314,2	312,1	322,6	**	*
Rzepak ozimy Winter oilseed rape	IX 2006– VII 2007	629,2	450,7	464,5	481,8	481,3	495,6	**	**

Objaśnienia: \* różnice istotne, gdy  $\alpha = 0,05$ ; \*\* różnice istotne, gdy  $\alpha = 0,01$ ; N = różnice nieistotne.

Explanations: \* significant difference for  $\alpha = 0.05$ , \*\* significant difference for  $\alpha = 0.01$ , N = insignificant difference.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

**Tabela 4.** Opady atmosferyczne (mm) i całkowita ewapotranspiracja (mm) w okresie IV 2002–VII 2007**Table 4.** Precipitation (mm) and total evapotranspiration (mm), season IV 2002–VII 2007

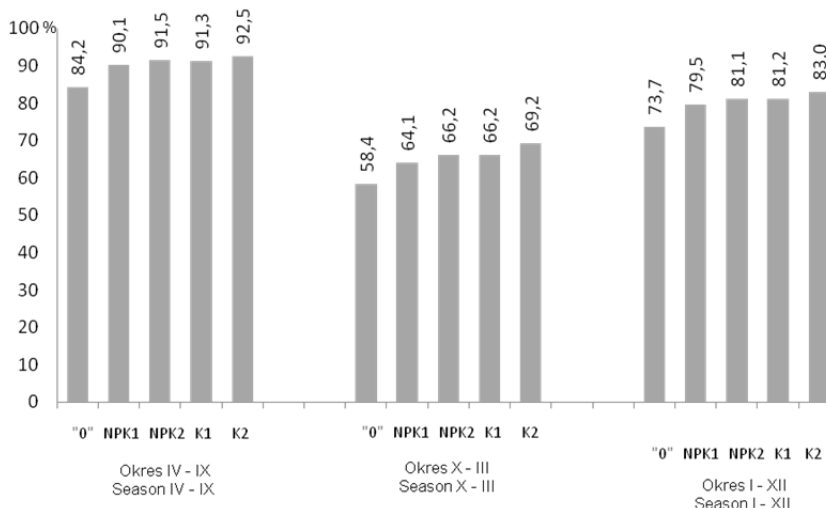
Rok Year	Opady atmosferyczne Precipitation mm	Ewapotranspiracja w wariacie nawożenia Evapotranspiration in fertilization variant				
		„0”	NPK1	NPK2	K1	K2
2002	448,3 <sup>1)</sup>	342,6	391,1	395	401,1	411,4
2003	461,3	355,2	377,4	379,2	377,5	383,6
2004	552,1	396,2	423,4	432,7	428,4	432,0
2005	679,5	492,7	527,0	538,7	536,7	548,0
2006	613,7	433,0	474,5	483,0	492,6	501,7
2007	438,2 <sup>2)</sup>	338,2	350,9	356,4	356,6	360,1

<sup>1)</sup> Suma opadów okresu IV–XII. <sup>2)</sup> Suma opadów z okresu I–VII.

<sup>1)</sup> Sum of precipitation in season IV–XII. <sup>2)</sup> Sum of precipitation in season I–VII.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.





Rys. 2. Wskaźniki procentowe powrotu (wyparowania) opadów atmosferycznych, w całym okresie badań (IV 2002–VII 2007); źródło: wyniki własne

Fig. 2. Percentage indicator of return of atmospheric precipitation (evaporation) over the whole study period (IV 2002–VII 2007); source: own study

(IV–IX). W okresie tym wyparowało od 84% opadów – w wariacie bez nawożenia do około 93% opadów w wariacie z dawką  $15 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-2}$ , dostarczaną w kompoście. W półroczu jesienno-zimowym (X–III) ewapotranspiracja stanowiła odpowiednio 58,4% do 69,2% opadów, a w całym roku 73,7% do 83,0% ogólnej ilości opadów. Podobne wielkości ewapotranspiracji wykazali GRAF i KRAJEWSKI [2013] w badaniach symulacyjnych zlewni Mogilnicy (dorzecze Warty). Ewapotranspiracja stanowiła tam 79%, infiltracja 15% i spływ powierzchniowy 6% opadu rocznego.

Analiza statystyczna wyników badań wykazała istotność różnic ( $p < 0,01$ ) wielkości ewapotranspiracji wszystkich badanych roślin, pomiędzy wariantem „0” a pozostałymi wariantami nawożenia. Różnice w ewapotranspiracji, w porównywanych wariantach (NPK1 z K1, NPK2 z K2, NPK1 z NPK2 i K1 z K2), były istotne statystycznie dla większości badanych roślin (tab. 3). Zaskakujący i trudny do wyjaśnienia jest natomiast brak istotnych różnic ( $p > 0,05$ ) pomiędzy ewapotranspiracją w wariantach z nawożeniem w przypadku kukurydzy (2003 r.) i gorczycy (2005 r.). W obydwu tych przypadkach wystąpiła jednak wyraźna tendencja wzrostu ewapotranspiracji ze wzrostem dawek nawozów. W przypadku równorzędnych dawek nawozów ewapotranspiracja była nieznacznie większa w wariantach z nawożeniem kompostem niż w wariantach z nawożeniem mineralnym.

## WNIOSKI

1. Nawożenie gleby jest czynnikiem zwiększającym ewapotranspirację rzeczywistą z powierzchni z roślinami uprawnymi. Ze zwiększaniem dawek nawozów występuje tendencja zwiększania się ewapotranspiracji.

2. Wpływ na wielkość ewapotranspiracji ma nie tylko wielkość dawek azotu, ale także rodzaj nawozu, w którym zostały zastosowane. Ewapotranspiracja roślin uprawnych nawożonych kompostem była nieco większa niż w przypadku ich nawożenia równorzędnymi dawkami azotu w formie mineralnej.

3. W warunkach braku spływu powierzchniowego głównymi elementami rozchodu wód opadowych są ewapotranspiracja i infiltracja. Proporcje między tymi elementami wykazują zdecydowaną przewagę ewapotranspiracji nad infiltracją.

4. Ewapotranspiracja jest bardzo zmienna w czasie. Największa jest w okresie wegetacyjnym roślin (84–93% sumy opadów), najmniejsza w okresie jesienno-zimowym (58–69% sumy opadów).

## BIBLIOGRAFIA

- BEN MANSOUR S., KORICHI R. 2013. Etude de l'évapotranspiration réelle liée à l'évapotranspiration potentielle et à la production agricole phœnicicole à l'échelle de l'écosystème de l'ITAS. Mise au point d'un modèle basé sur la consommation de l'eau et la production agricole [Study of real évaporimeter attached with potential évapotranspiration and with agricultural and phœnicicol production with shedule of ecosystem of ITAS. Using a modal based on consummation of water and agricultural production] [online]. [Dostęp 02.08.2013]. Dostępny w Internecie: [https://bu.univouargla.dz/master/pdf/master\\_benmansour\\_korichi.pdf?idmemoire=4064](https://bu.univouargla.dz/master/pdf/master_benmansour_korichi.pdf?idmemoire=4064)
- BOUCHET R.J. 1963. Évapotranspiration réelle et potentielle, signification climatique [Actual and potential évapotranspiration, climate significance] [online]. Berkeley, Calif. Int. Assoc. Sci. Hydrol. Proc. Symp. Publ. No. 62 (1963) s. 134–142. [Dostęp 02.08.2017]. Dostępny w Internecie: [iahs.info/uploads/dms/iahs\\_062\\_0134.pdf](https://iahs.info/uploads/dms/iahs_062_0134.pdf)
- CZYŻYK F., ŚWIERKOT Z. 2017. Recharging infiltration of precipitation water through the light soil, in the absence of surface runoff. Journal of Water and Land Development. No. 32 ss. 25–30. DOI 10.1515/jwld-2017-0003.
- DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA K. 1995. Szacowanie ewapotranspiracji wilgotności gleb i masy zielonej łąk na podstawie zdjęć satelitarnych [Estimation of évapotranspiration of soil moisture and mass of green meadows based on satellite imagery]. Wrocław. NOAA. PAN – Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania. Prace Geograficzne. Nr 165. ISSN 0373-6547 ss. 82.
- GASIOREK E., KAMIŃSKA J., MUSIAŁ E. 2008. Modelowanie ewapotranspiracji wskaźnikowej w różnych regionach Polski [Modeling évapotranspiration indicator in different regions of Poland]. Kraków. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 7 s. 69–80.
- GRAF R., KRAJEWSKI I. 2013. Kształtowanie się elementów bilansu wodnego w zlewni Mogilnicy na podstawie badań symulacyjnych [Forming of water balance elements in the Mogilnica catchment on the basis of simulating investigations]. Nauka Przyroda Technologie. T. 7. Z. 1 s. 1–11.
- KACZOROWSKA Z. 1962. Opady w Polsce w przekroju wieloletnim [Precipitation in Poland in long-term cross-section]. Przegląd Geograficzny. Nr 33. ISSN-0033-2143 ss. 112.
- KASPERSKA-WOŁOWICZ W., ŁABĘDZKI L. 2004. Porównanie ewapotranspiracji wskaźnikowej według Penmana i Penmana-Monteitha w różnych regionach Polski [Comparison of Penman and Pen-

- man-Monteith evapotranspiration ratios in different regions of Poland]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T 4. Z. 2a (11) s. 123–136.
- ŁABĘDZKI L. 1997. Potrzeby nawodnień użytków zielonych, uwarunkowania przyrodnicze i prognozytyczne [The needs of grassland irrigation, natural and prognostic conditions]. Rozprawy Habiliacyjne. Falenty. Wydaw. IMUZ. ISBN 83-85735-51-8 ss. 170.
- ŁABĘDZKI L., BĄK B., KANECKA-GESZKE E. 2012. Wielkość i zmienność ewapotranspiracji wskaźnikowej według Penmana-Monteitha w okresie wegetacyjnym w latach 1970–2004 w wybranych rejonach Polski [Size and volatility of evapotranspiration indicator according to Penman-Monteith in the vegetation period 1970–2004 in selected regions of Poland]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 12. Z. 2 (38) s. 159–170.
- MISZTAŁ A. 2000. Odpływ wody i ewapotranspiracja w warunkach zróżnicowanego użytkowania gleby górskiej w rejonie Małych Pienin [Water outflow and evapotranspiration under differentiated use of mountainous soil in the area of Małe Pieniny]. Rozprawy Habiliacyjne. Falenty. Wydaw. IMUZ ss. 113.
- MLADENOVA B., VARLEV I. 2007. Impact of extreme climate years on relative „yield – evapotranspiration” relationships. Journal of Water and Land Development. No. 11 s. 71–77.
- SZAJDA J. 2006. Ocena ewapotranspiracji rzeczywistej użytków zielonych na podstawie plonu aktualnego [Evaluation of evapotranspiration of actual grassland based on actual yield]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 6. Z. 1 (16) s. 403–412.
- ZOTARELLI L., DUKES M.D., ROMERO C.C, MIGLIACCIO K.W., MORGAN K.T. 2010. Step by step calculation of the Penman\_Monteith evapotranspiration (FAO-56 Method) University of Florida (IFAS Extension) [online]. [Dostęp 04.05.2017]. Dostępny w Internecie: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/ae/ae45900.pdf>
- ŻYROMSKI A., SZULCZEWSKI W., BINIAK-PIERÓG M., OKRASIŃSKA H. 2012a. Prosty model ewapotranspiracji dla wybranych roślin energetycznych [Simple model of evapotranspiration of selected energy plants]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 12. Z. 2 (38) s. 391–399.
- ŻYROMSKI A., SZULCZEWSKI W., BINIAK-PIERÓG M., OKRASIŃSKA H. 2012b. Zastosowanie modelu WSMT do oceny ewapotranspiracji miskanta i topinamburu [WSMT model application for topinambour and giant chinese silver grass evapotranspiration estimation]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 12. Z. 2 (38) s. 401–409.

*Franciszek CZYŻYK, Aleksandra STEINHOFF-WRZEŚNIEWSKA*

## VARIETY OF EVAPOTRANSPIRATION OF CERTAIN CULTIVATED PLANTS IN CONDITIONS OF DIFFERENT FERTILIZATION

**Key words:** *evapotranspiration, infiltration, lysimeters experiments, organic and mineral fertilization, precipitation*

### Summary

The paper shows the dependence of real evapotranspiration of plants on the dosage levels and the type of fertilizers used. The evapotranspiration volume was determined on the basis of lisimetric studies carried out between 1 April 2002 and 31 July 2007. In the following years lysimeters was sown with a mixture of grass, corn, sugar beet, yellow mustard, triticosecale and winter oilseed rape. In order to investigate the effect of fertilization on the amount of infiltration and evapotranspiration, a variant without fertilization was applied, two variants of organic fertilization with compost: K1 – 10 g N·m<sup>-2</sup> i K2 – 15 g N·m<sup>-2</sup> and two variants of mineral fertilization: NPK1 and NPK2 with equivalent N doses in the form of ammonium nitrate and PK in the form of superphosphate and potassium salt.

For the calculation of real evapotranspiration on the basis of lisimetric measurements, an effective infiltration pattern was used. The results showed that soil fertilization was a factor that increased actual evapotranspiration from the crop area. With the increase in nitrogen doses tend to increase evapotranspiration and the effect on evapotranspiration is not only the amount of nitrogen doses, but also the type of fertilizer in which they are used. The evapotranspiration of crops fertilized with compost was greater than in the case of their fertilization with equivalent doses in mineral form of fertilizers.

**Adres do korespondencji:** prof. dr hab. Franciszek Czyżyk, Dolnośląski Ośrodek Badawczy ITP we Wrocławiu, ul. Heleny Motykówny 7, 51-209 Wrocław; e-mail: f.czyzyk@itp.edu.pl, aleksandra.sw@gmail.com