

Wpłynęło 29.03.2012 r.
Zrecenzowano 18.06.2012 r.
Zaakceptowano 18.06.2012 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

ZASTOSOWANIE MODELU WSMT DO OCENY EWAPOTRANSPIRACJI MISKANTA I TOPINAMBURU

**Andrzej ŻYROMSKI^{1) ABCDEF}, Wiesław SZULCZEWSKI^{2) ABCDEF},
Małgorzata BINIAK-PIERÓG^{1) ABCDEF}, Hanna OKRASIŃSKA^{2) ABCDEF}**

¹⁾ Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska

²⁾ Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Matematyki

Streszczenie

Na podstawie pomiarów terenowych ewapotranspiracji miskanta olbrzymiego (*Miscanthus × giganteus* Greef et Deu.) oraz topinamburu (słonecznika bulwiastego – *Heliantus tuberosus* L.) przeprowadzono adaptację modelu WSMT (od nazw gatunków roślin: wierzba, ślázowiec, miskant, topinambur), opracowanego wcześniej dla wierzby wiciowej (*Salix viminalis* L.) i ślázowca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby). Dane wejściowe do modelu pochodziły z obserwacji i pomiarów, prowadzonych na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii Wrocław – Swojec, należącego do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Zagadnienie zostało rozwiązane za pomocą algorytmu genetycznego, który umożliwia uzyskanie najlepszego dopasowania szukanej funkcji do danych uzyskanych empirycznie. Ocena modelu została dokonana na podstawie następujących wskaźników: RRMSE (ang. “Relative Root Mean Squared Error”), EF (ang. “Modeling Efficiency”), CRM (ang. “Coefficient of Residual Mass”), współczynnika korelacji oraz współczynnika determinacji. Weryfikacja modelu została przeprowadzona na zestawie danych, dotyczących tych samych roślin, pomierzonych innym ewaporometrem. Uzyskane wyniki dla miskanta olbrzymiego oraz topinamburu, podobnie jak w przypadku wierzby wiciowej i ślázowca pensylwańskiego, pozwalają na obliczanie ewapotranspiracji badanych roślin energetycznych na podstawie jedynie parowania z wolnej powierzchni wody oraz opadów atmosferycznych. Parametry jakościowe uzyskanego modelu wskazują na możliwość zbudowania modeli grupujących rośliny pod względem ich cech, np. morfologicznych. Ponieważ nadal prowadzone są badania polowe uwzględnionych w pracy roślin energetycznych, zaproponowana metodyka będzie zastosowana do szerszego zbioru danych, co umożliwi zwiększenie precyzji dopasowania poszczególnych modeli przypisanych do poszczególnych roślin oraz przeprowadzenie bardziej wnikliwej weryfikacji.

Słowa kluczowe: ewapotranspiracja, model matematyczny, rośliny energetyczne

Adres do korespondencji: dr hab. inż. A. Żyromski, prof. nadzw., Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław; tel. +48 (71) 320-55-69, e-mail: andrzej.zyromski@up.wroc.pl

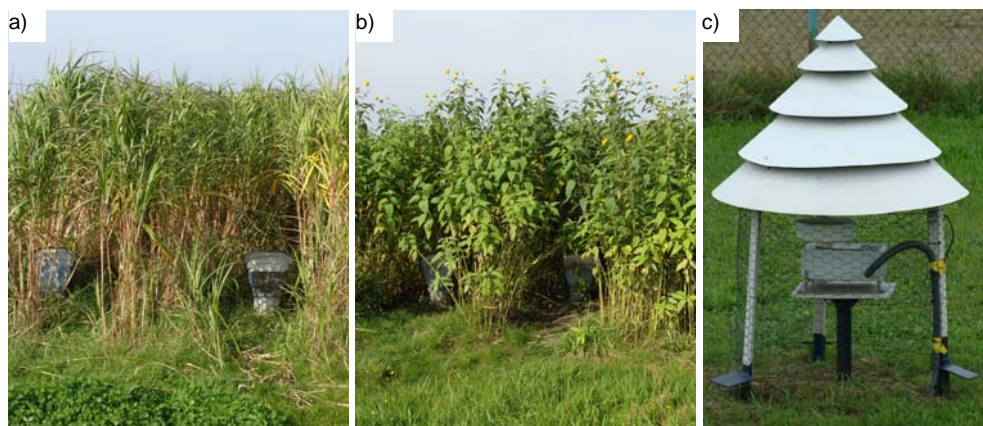
WSTĘP

W badaniach poświęconych poszukiwaniom metod pozyskiwania odnawialnych źródeł energii produkcja biomasy ma kluczowe znaczenie. Powstaje ona w procesie fotosyntezy, do którego potrzebna jest: energia, woda i ditlenek węgla. Produkty te są dostępne w środowisku, ponieważ niewyczerpanym źródłem energii jest Słońce, woda występuje w środowisku w różnym stopniu dostępności, natomiast ditlenek węgla aktualnie występuje w nadmiarze i przypisuje się mu wpływ na niekorzystne zmiany klimatu [RENTIZELAS i in. 2009]. Spektrum uprawianych na biomasę roślin wykorzystywanych na cele energetyczne jest duże. Są nimi: różne gatunki wierzby (*Salix* sp.) [HELLER i in. 2004], miskanta (*Miscanthus* sp.) [DEUTER, JEŻOWSKI 2002; HIMKEN i in. 1997; KOWALCZYK-JUŚKO 2004], ślázowca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby) [DENISIUK 2005], topinamburu (słonecznika bulwiastego – *Heliantus tuberosus* L.) [AUGUSTYNOWICZ i in. 2010; FRĄCZEK i in. 2011], traw łąkowych [HARKOT i in. 2007], zbóż oraz buraków półcukrowych, obejmuje ono również glony [KOZIEL, WŁODARCZYK 2011]. W celu obniżenia kosztów produkcji biomasy uwzględnia się również małe wymagania glebowe i nawozowe. W procesie produkcji biomasy bardzo ważny jest udział czynnika wodnego [OSTROWSKI i in. 2009]. Coraz częściej sięga się również po rośliny dotychczas wykorzystywane w wielu rejonach świata do celów spożywczych i ozdobnych. Taką rośliną jest topinambur [AUGUSTYNOWICZ i in. 2010; FRĄCZEK i in. 2011]. Badania nad tym gatunkiem obejmują wiele aspektów, w tym również modelowanie matematyczne [PISKIER 2010; 2011].

Stan wiedzy, dotyczący miskanta i topinamburu, skłonił autorów do sprawdzenia zakresu możliwości adaptacyjnych modelu ewapotranspiracji WSMT (od nazw gatunków roślin: wierzba, ślázowiec, miskant, topinambur), opracowanego wcześniej dla wierzby wiciowej i ślázowca pensylwańskiego [ŻYROMSKI i in. 2012].

METODY BADAŃ

Podobnie jak w przypadku wierzby wiciowej i ślázowca pensylwańskiego, przyjęto tę samą metodykę budowania modelu zależności parowania z wolnej powierzchni wody z ewapotranspiracją miskanta i topinamburu. Wykorzystano pomiary terenowe ewapotranspiracji tych roślin z okresu od kwietnia do października 2009 r., prowadzonych na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii Wrocław – Swojec, należącego do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Obserwacje ewapotranspiracji prowadzono dwukrotnie w ciągu doby, wykorzystując do tego celu ewaporometry glebowe UPZR skonstruowane i eksploatowane na terenie Obserwatorium [BAC, JANGAS 1984, 1985] (fot. 1a, b). Ewaporometry mają powierzchnię 3000 cm² i miąższość monolitów glebowych 70 cm. Zastosowanie ewaporometrów pozwoliło na uniezależnienie się od wpływu wód gruntowych



Fot. 1. Ewaporometry: a) glebowy z miskantem olbrzymim (*Miscanthus × giganteus* Greef et Deu.), b) glebowy z topinamburem (*Helianthus tuberosus* L.), c) EWP – 992; źródło: własne

Photo 1. Soil evaporimeters: a) with *Miscanthus × giganteus* Greef et Deu., b) with *Helianthus tuberosus* L., c) evaporimeter EWP – 992; source: own

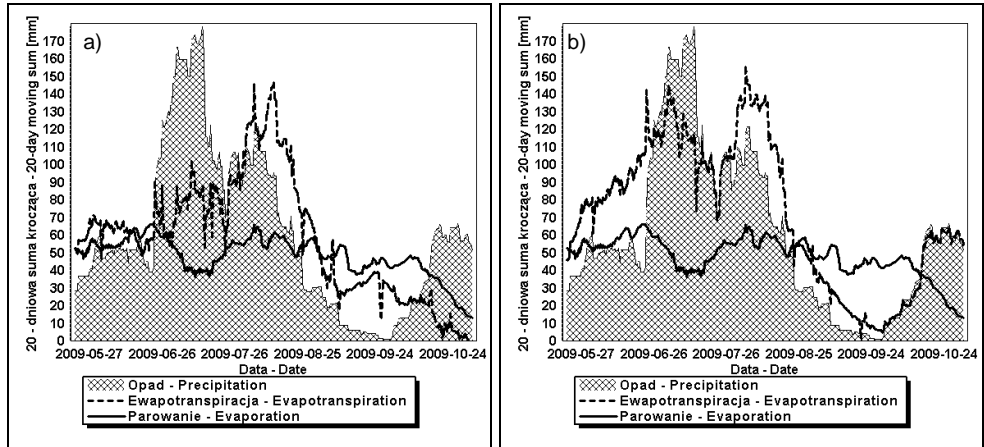
na wzrost i rozwój badanych roślin. W celu korekty pomiarów ewapotranspiracji wykorzystano również pomiary sum dobowych opadów atmosferycznych. Do pomiarów parowania z wolnej powierzchni wodnej wykorzystywany był programowalny ewaporometr EWP – 992 (fot. 1c) [A-STER].

WYNIKI BADAŃ

Opracowany model WSMT [ŻYROMSKI i in. 2012] szacowania wartości ewapotranspiracji rzeczywistej zastosowano dla miskanta olbrzymiego oraz topinamburu. Danymi wejściowymi do powyższego modelu są tylko dwie zmienne – opad i ewaporacja z wolnej powierzchni wody. Do analizy wykorzystano dane uzyskane z pomiarów terenowych z okresu od kwietnia do października 2009 roku.

Do szczegółowej analizy wykorzystano, podobnie jak w modelu opracowanym wcześniej, sumy dobowe ewapotranspiracji miskanta olbrzymiego i topinamburu, uzyskane z pomiarów ewaporometrami glebowymi, dobowe sumy parowania z wolnej powierzchni wody oraz dobowe sumy opadów atmosferycznych, pomierzone na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii Wrocław – Swojec. Opracowanie dotyczyło również okresu od początku kwietnia do października 2009 r. Wyniki pomiarów terenowych zostały zaprezentowane na rysunku 1.

Model WSMT umożliwia wyznaczenie wartości ewapotranspiracji rzeczywistej w kolejnych dniach wegetacji na podstawie opadu oraz ewaporacji z wolnej powierzchni wody. Dokładny opis modelu przedstawiono w pracy ŻYROMSKIEGO i in. [2012].



Rys. 1. Dane wejściowe do modelu WSMT: a) miskant olbrzymi (*Miscanthus × giganteus* Greef et Deu.), b) topinambur (*Helianthus tuberosus* L.); źródło: opracowanie własne

Fig. 1. WSMT model input data: a) *Miscanthus × giganteus* Greef et Deu., b) *Helianthus tuberosus* L.; source: own study

Dopasowanie parametrów przeprowadzono za pomocą procedury poszukiwania globalnego minimum funkcji wielu zmiennych zaproponowanej przez PRICE’A, i in. [2005]. Uzyskane wartości dla badanych roślin energetycznych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości parametrów modelu WSMT

Table 1. WSMT model parameters’ values

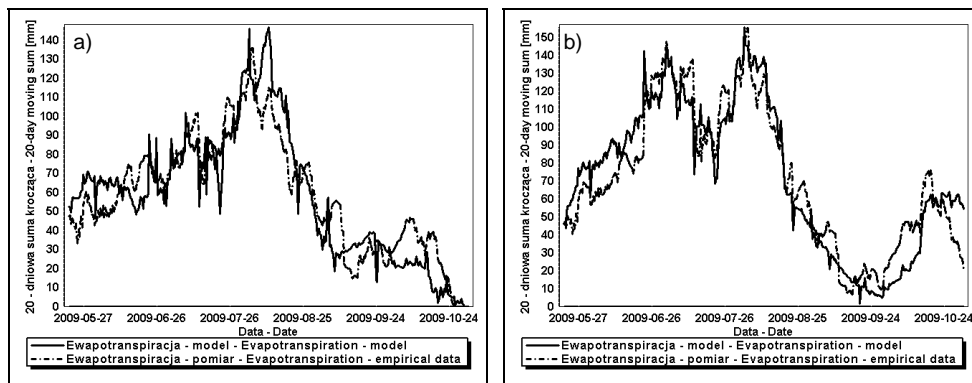
Gatunek rośliny Plant species	Parametr Parameter				
	α	β	γ	θ	δ
Miskant olbrzymi (<i>Miscanthus × giganteus</i> Greef et Deu.)	1,29	-40,3	0,89	-0,02	55
Topinambur (<i>Helianthus tuberosus</i> L.)	1,92	-70,5	0,96	-0,005	1502

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Dopasowanie przeprowadzono dla dwóch roślin – miskanta olbrzymiego i topinamburu. Wyniki tego działania zamieszczono na rysunku 2.

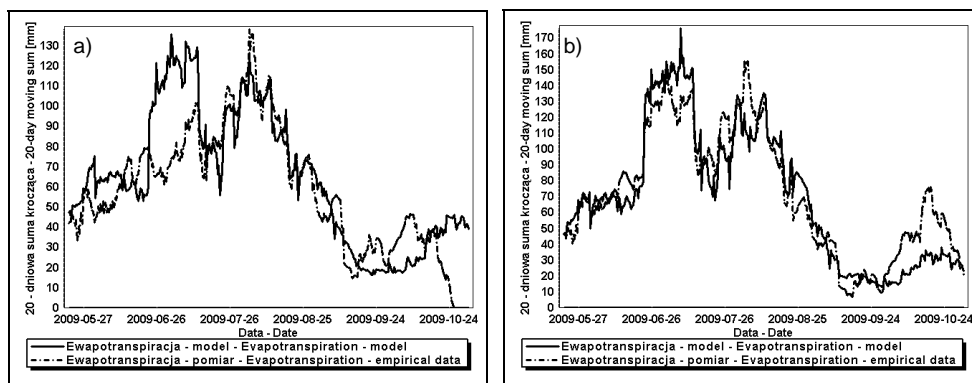
Tak jak poprzednio, ze względu na brak prowadzonych wcześniej w tym zakresie badań i małą ilość danych, weryfikacji dokonano na danych, uzyskanych z dwóch innych ewaporometrów, a wyniki zaprezentowano na rysunku 3.

Ocenę modelu przeprowadzono identycznie, jak dla wierzby wiciowej i ślazuwca pensylwańskiego [ŻYROMSKI i in. 2012], tj. dokonano jej na podstawie następujących wskaźników: RRMSE (ang. “Relative Root Mean Squared Error”), EF (“Modeling Efficiency”), CRM (“Coefficient of Residual Mass”), współczynnika korela-



Rys. 2. Dopasowanie modelu WSMT do danych empirycznych: a) miskant olbrzymi (*Miscanthus × giganteus* Greef et Deu.), b) topinambur (*Helianthus tuberosus* L.); źródło: opracowanie własne

Fig. 2. WSMT model fit to empirical data: a) *Miscanthus × giganteus* Greef et Deu., b) *Helianthus tuberosus* L.; source: own study



Rys. 3. Wyniki weryfikacji modelu WSMT: a) miskant olbrzymi (*Miscanthus × giganteus* Greef et Deu.), b) topinambur (*Helianthus tuberosus* L.); źródło: opracowanie własne

Fig. 3. WSMT model verification: a) *Miscanthus × giganteus* Greef et Deu., b) *Helianthus tuberosus* L.; source: own study

cji oraz współczynnika determinacji. Aby odpowiednio zinterpretować podane wskaźniki, należy przyjąć, że O_i oznacza wartości obserwowane, P_i – wartości przewidywane uzyskane z modelu, natomiast \bar{O} – wartość średnią z danych obserwowanych.

Weryfikację poprawności funkcjonowania modelu, podobnie jak w przypadku wierzby i ślazuca, przeprowadzono w dwóch etapach. Pierwszy z nich to określenie zgodności przewidywanych danych do wartości ewapotranspiracji, uzyskanych eksperymentalnie (tab. 2).

Tabela 2. Wartości miar dopasowania modelu WSMT dla rozpatrywanych roślin energetycznych w I etapie weryfikacji

Table 2. Values of WSMT model fitting measures for considered energy crops on the 1st stage of verification

Gatunek rośliny Plant species	Kryterium oceny modelu Model evaluation criterion				
	RRMSE	EF	CRM	R	R ²
Miskant olbrzymi (<i>Miscanthus × giganteus</i> Greef et Deu.)	0,017	0,999	0	0,902	0,77
Topinambur (<i>Helianthus tuberosus</i> L.)	0,026	0,998	0	0,941	0,872

Objaśnienia: Explanations: RRMSE – Relative Root Mean Squared Error, EF – Modeling Efficiency, CRM – Coefficient of Residual Mass, R – correlation coefficient, R² – determination coefficient.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Kolejnym etapem była weryfikacja wiarygodności modelu dla uzyskanych metodą znajdowania minimum globalnego funkcji parametrów w przypadku niezależnego eksperymentu polowego (tab. 3).

Tabela 3. Wartości miar dopasowania modelu WSMT dla rozpatrywanych roślin energetycznych w II etapie weryfikacji

Table 3. Values of WSMT model fitting measures for considered energy crops on the 2nd stage of verification

Gatunek rośliny Plant species	Kryterium oceny modelu w II etapie weryfikacji Model evaluation criterion on the 2 nd stage of verification				
	RRMSE	EF	CRM	R	R ²
Miskant olbrzymi (<i>Miscanthus × giganteus</i> Greef et Deu.)	0,052	0,989	0,094	0,796	0,531
Topinambur (<i>Helianthus tuberosus</i> L.)	0,002	1	-0,034	0,931	0,834

Objaśnienia, jak pod tabelą 2. Explanations as in Tab. 2.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone analizy umożliwiły stwierdzenie, że przyjęta metodyka jest zasadna i wymaga jedynie udoskonalenia na podstawie materiałów pomiarowych z dłuższego okresu. Istotna jest również konieczność przeprowadzenia weryfikacji wyników na materiale niezależnym, uzyskanym z pomiarów w kolejnych latach badań. Pozwoli to na sprawdzenie czułości uzyskanego modelu na zmienne warunki pogodowe, wpływające w istotny sposób na proces ewapotranspiracji badanych roślin oraz przebieg parowania wskaźnikowego, uwzględnianego w wygenerowanym modelu. Pozwoli również na przeprowadzenie oceny możliwości generalizacji opracowanego modelu dla większej grupy roślin uprawianych na cele energetycz-

ne. Dodatkowym, niespodziewanym, wnioskiem płynącym z uzyskanych parametrów dla modelu jest możliwość pogrupowania badanych roślin ze względu na ich cechy morfologiczne. Jest to szczególnie widoczne w przypadku parametrów modelu α i β . Porównanie liczbowe zamieszczono w tabeli 4.

Tabela 4. Porównanie parametrów modelu WSMT α i β dla badanych gatunków roślin energetycznych

Table 4. Comparison of WSMT model α and β parameters for analyzed energy crops

Gatunek rośliny Plant species	Parametr Parameter	
	α	β
Miskant olbrzymi (<i>Miscanthus</i> × <i>giganteus</i> Greef et Deu.)	1,29	-40,3
Ślaziolec pensylwański (<i>Sida hermaphrodita</i> (L.) Rusby)	1,65	-48,2
Wierzba wiciowa (<i>Salix viminalis</i> L.)	2,36	-76,9
Topinambur (<i>Helianthus tuberosus</i> L.)	1,92	-70,5

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Ze względu na krótki okres, uwzględniony w budowanych modelach dla poszczególnych roślin trudno na tym etapie badań wyjaśnić niewielkie różnice parametrów α i β . Uzyskane wyniki wskazują na istniejącą możliwość grupowania roślin różnych gatunków, co z kolei wskazuje na możliwość zbudowania jednego uniwersalnego modelu.

WNIOSEK

Uzyskane wyniki dla miskanta olbrzymiego oraz topinamburu, podobnie jak w przypadku wierzby wiciowej i ślaziowca pensylwańskiego, pozwalają na obliczanie ewapotranspiracji badanych roślin energetycznych na podstawie tylko danych dotyczących parowania z wolnej powierzchni wody oraz opadów atmosferycznych. Parametry jakościowe uzyskanego modelu wskazują na możliwość zbudowania modeli grupujących rośliny pod względem ich cech np. morfologicznych. Ponieważ nadal prowadzone są badania polowe rozpatrywanych roślin energetycznych, zaproponowana metodyka będzie zastosowana do szerszego zbioru danych, co umożliwi zwiększenie dokładności dopasowania poszczególnych modeli przypisanych do poszczególnych roślin oraz przeprowadzenie bardziej wnikliwej weryfikacji.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010–2013 jako projekt badawczy N N305 383539.

LITERATURA

- A-STER. Ewaporometr EWP – 992. Instrukcja obsługi. Kraków ss. 21.
- AUGUSTYNOWICZ J., PIETKIEWICZ S., KALAJI M.H., RUSSEL S. 2010. Wpływ nawożenia osadem ścięgowym na wybrane parametry aktywności biologicznej gleby oraz wydajności aparatu fotosyntezy słonecznika bulwiastego (*Helianthus tuberosus* L.). Woda Środowisko Obszary Wiejskie. T. 10. Z. 2 (30) s. 7–18.
- BAC S., JANGAS J. 1984. Urządzenie do pomiarów i rejestracji parowania, osadów i opadów atmosferycznych. W: Problematyka hydrologiczna i meteorologiczna małych zlewni rzecznych. Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego. Wrocław. PTGeof. s. 5–7.
- BAC S., JANGAS J. 1985. Wzór użytkowy nr 59735. Urządzenie do pomiaru i rejestracji zmian masy, zwłaszcza niektórych elementów bilansu wodnego
- BELLOCCHI G., ACUTIS M., FILA G., DONATELLI M. 2002. An indicator of solar radiation model performance based on a fuzzy expert system. *Agronomy Journal*. Vol. 94 s. 1222–1233.
- DENISIUK W. 2005. Możliwości wykorzystania ślazuwca pensylwańskiego w energetyce. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 6 s. 105–113.
- DEUTER M., JEZOWSKI S. 2002. Stan wiedzy o hodowli traw olbrzymich z rodzaju *Miscanthus*. *Postępy Nauk Rolniczych*. Nr 2 s. 59–67.
- FOX D.G. 1981. Judging air quality model performance: a summary of the AMS workshop on dispersion models performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*. Vol. 62 s. 599–609.
- FRĄCZEK J., MUDRYK K., WRÓBEL M. 2011. Wybrane właściwości fizyczno-mechaniczne topinamburu (*Helianthus tuberosus* L.). *Inżynieria Rolnicza*. Nr 6 (131) s. 29–36.
- HARKOT W., WARDA M., SAWICKI J., LIPIŃSKA H., WYŁUPEK T., CZARNECKI Z., KULIK M. 2007. Możliwości wykorzystania runi łąkowej do celów energetycznych. *Łąkarstwo w Polsce*. Nr 10 s. 59–67.
- HELLER M.C., KEOLEIAN G.A., MANN M.K., VOLK T.A. 2004. Life cycle energy and environmental benefits of generating electricity from willow biomass. *Renewable Energy*. Vol. 29. Iss. 7 s. 1023–1042.
- HIMKEN M., LAMMEL J., NEUKIRCHEN D., CZYPIONKA-KRAUSE U., OLFS H.W. 1997. Cultivation of *Miscanthus* under West European conditions: Seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization. *Plant and Soil*. Vol. 189 s. 117–126.
- KOWALCZYK-JUŚKO A. 2004. Miskant do pieca. *Agroenergetyka*. Nr 2(8) s. 16–17.
- KOZIEL W., WŁODARCZYK T. 2011. Glony – produkcja biomasy. *Acta Agrophysica*. No 17(1) s. 105–116.
- LOAGUE K., GREEN R.E. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. *Journal of Contaminant Hydrology*. Vol. 7 s. 51–73.
- OSTROWSKI J., GUTKOWSKA A., TUSIŃSKI E. 2009. Udział czynnika wodnego w modelowaniu kategoryzacji oraz oceny przydatności gruntów do uprawy roślin energetycznych. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*. T. 9. Z. 4(28) s. 187–202.
- PISKIER T. 2010. Model uprawy topinamburu z przeznaczeniem na opał. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 7 (125) s. 183–190.
- PISKIER T. 2011. Model oceny wartości energetycznej topinamburu z przeznaczeniem na opał. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 1 (126) s. 189–195.
- PRICE K.V., STORN R.M., LAMPINEN J.A. 2005. *Differential evolution – A practical approach to global optimization*. Berlin, Heidelberg. Springer Verl. ISBN 978-3-540-20950-8 ss. 538.
- RENTIZELAS A., TOLIS A., TATSIPOULOS I. 2009. Biomass district energy trigeneration systems: emissions reduction and financial impact. *Water Air Soil Pollution. Focus*. Vol. 9 s. 139–150.

ŻYROMSKI A., SZULCZEWSKI W., BINIAK-PIERÓG M., OKRASIŃSKA H. 2012. Prosty model ewapotranspiracji dla wybranych roślin energetycznych. Woda Środowisko Obszary Wiejskie. W niniejszym zeszycie s. 391–399.

*Andrzej ŻYROMSKI, Wiesław SZULCZEWSKI,
Małgorzata BINIAK-PIERÓG, Hanna OKRASIŃSKA*

WSMT MODEL APPLICATION FOR TOPINAMBOUR AND GIANT CHINESE SILVER GRASS EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATION

Key words: *energy plants, evapotranspiration, mathematical model*

S u m m a r y

Basing on the field measurements of evapotranspiration of giant Chinese silver grass and topinambour an adaptation of WSMT model (the name from four names of energetic plant species in Polish), developed previously for common osier and Virginia fanpetals was done. Model input data came from measurements carried out at the Agro- and Hydrometeorology Observatory in Wrocław – Swojec, that belongs to Wrocław University of Environmental and Life Sciences. The problem has been solved using genetic algorithm, that allows to obtain the best fit of the function to data obtained empirically. Assessment of the model was based on the following indices: RRMS (Relative Root Mean Square Error), EF (Modeling Efficiency), CRM (Coefficient of Residual Mass), the correlation coefficient and the coefficient of determination. Model verification was performed basing on data of the same plants, but obtained for another evaporimeters. The results obtained for the giant Chinese silver grass and topinambour as for common osier and Virginia fanpetals, allow to calculate the evapotranspiration of energy plants studied, basing only on the data of evaporation from free water surface and precipitation. Quality parameters obtained for the model indicate the possibility to develop models, able to group plants according to their characteristics such as morphological. Because the field experiment with energy plants has been carried out continuously, the proposed methodology will be applied to a broader set of data, allowing to fit the models more precisely according to particular plants and to conduct a more accurate verification.