INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 2/I/2013, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 19–30
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

SERWIS NAWODNIENIOWY – INTERNETOWA PLATFORMA WSPOMAGANIA DECYZJI ZWIĄZANYCH Z NAWADNIANIEM ROŚLIN SADOWNICZYCH

Waldemar Treder, Krzysztof Klamkowski, Anna Tryngiel-Gać, Daniel Sas, Tomasz Pych

Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach

IRRIGATION SERVICE – AN INTERNET DECISION SUPPORT SYSTEM FOR IRRIGATION OF FRUIT CROPS

Streszczenie

W ramach Programu Wieloletniego 2008 - 2014 w Instytucie Ogrodnictwa prowadzone jest 50 zadań badawczych. Jednym z nich jest zadanie 2.2. „Optymalizacja nawadniania upraw sadowniczych w Polsce z uwzględnieniem przebiegu pogody i zasobów wodnych gleby w głównych rejonach upraw sadowniczych". Efektem podjętych prac ma być poprawa efektywności wykorzystania wody do nawadniania roślin sadowniczych. Narzędziem do uzyskania planowanego celu jest opracowanie internetowego serwisu zaleceń nawodnieniowych oraz opracowanie i wdrożenie za pomocą Internetu prostych metod szacowania potrzeb wodnych roślin sadowniczych. Serwis w wersji testowej został uruchomiony w połowie 2012 roku. Adres serwisu, który umieszczony jest na serwerze Instytutu Ogrodnictwa to http://www.nawadnianie.inhort.pl. Do serwisu jest także dostęp z głównej strony Instytutu Ogrodnictwa - http://www.inhort.pl po wybraniu linku Serwis Nawodnieniowy. Serwis zawiera aktualne i historyczne dane meteorologiczne mierzone przez kilka własnych automatycznych stacji pomiarowych. Wyznaczany tu jest także bilans klimatyczny. Strona zawiera także słownik oraz literaturę związaną z tematyką nawodnieniową. Bardzo ważnym elementem serwisu są także aplikacje pomocne przy wyznaczaniu potrzeb wodnych oraz dawek nawodnieniowych. Zawarte na stronie kalkulatory umożliwiają szacowanie ewapotranspiracji i potrzeb wodnych roślin na podstawie pomiarów parametrów meteorologicznych. Przeznaczone są one dla wszystkich tych użytkowników, którzy nie mogą skorzystać z danych obliczanych przez automatyczne stacje meteorolo-

giczne. Wstępne analizy wyników wykazały wysoką zgodność szacowanych za pomocą aplikacji internetowej potrzeb wodnych jabłoni w odniesieniu do rzeczywistych dawek wody aplikowanych przez system nawodnieniowy sterowany automatycznie w oparciu o pomiar wilgotności gleby.

Słowa kluczowe: internetowy serwis nawodnieniowy, ewapotranspiracja, potrzeby wodne roślin, fertygacja

Summary

Fifty research tasks are conducted within 2008 - 2014 Multi-Year Programme. One of them (2.2) is: Optimization of irrigation of fruit crops in Poland considering weather condition and soil water resources in major fruit production regions. The aim of this task is to develop internet service of irrigation recommendations and to develop and implement with the use of Internet simple methods of water requirement calculation for fruit crops. The test version of the service was launched in 2012. The web address of the service, which is located on a server belonging to Research Institute of Horticulture is: http://www.nawadnianie.inhort.pl. It is also possible to access the service from the main web site of the Institute: http://www.inhort.pl using "Serwis Nawodnieniowy" link. The web service contains current and historical meteorological data measured by several weather stations belonging to the Institute. Climatic water balance is also calculated. The web also contains glossary and scientific literature on irrigation and water management. Software applications for calculation of plant water needs and irrigation rates are important elements of the service. Using these calculators it is possible to determine evapotranspiration and plant water requirements computed with the use of measured weather parameters. They are designated for users who do not have access to data from meteorological stations. Initial analyses demonstrated a high correlation between water requirements calculated using the internet application and the actual quantities of water which were applied through irrigation system controlled by soil moisture sensors.

Key words: *internet service of irrigation, evapotranspiration, plant water requirements, fertilization*

WSTĘP

W warunkach klimatycznych Polski opady atmosferyczne są podstawowym źródłem wody dla roślin. Od ich ilości, intensywności i rozkładu zależy wilgotność gleby, która ma wpływ na prawidłowy wzrost i rozwój roślin. W rejonach o intensywnej gospodarce rolnej przykładowo Wielkopolska, Kujawy czy Ziemia Łódzka, średnia wieloletnia ilość opadów rocznych wynosi 550-600 mm, a w latach suchych roczna suma opadów w regionie nie osiąga nawet 500 mm (Koźmiński i Michalska 1995). Tymczasem w klimacie umiarkowanym graniczny poziom opadów niezbędny do intensywnej produkcji rolnej wynosi 600 mm, a roczne opady poniżej 500 mm przyjmuje się jako wartość graniczną stepowienia (Banaszak 2003). W okresie najbliższych kilkunastu lat należy

oczekiwać, że bilans wodny Polski ulegnie dalszemu pogorszeniu (Łabędzki 2009, Kuchar i Iwański 2011). Większość modeli klimatycznych wskazuje, że z powodu globalnego ocieplenia zmniejszy sięu nas ilość opady w półroczu letnim. Ponieważ jednocześnie w wyniku zwiększania się średniej temperatury wzrośnie ewapotranspiracja, bilans wodny znacząco się pogorszy (Parry i in. 2007, Lobell i in. 2008).

Problem deficytu wody i racjonalnego gospodarowania jej zasobami, był i jest przedmiotem szeregu rozporządzeń i studiów Komisji i Parlamentu Europejskiego. Dlatego m.in. zaleca się, opracowanie i wdrożenie systemów zarządzania zasobami wodnymi dla celów rolniczych (Framer i in., 2008). Niedostateczna ilość wody podczas sezonu wegetacyjnego istotnie zmniejsza plony, ale przede wszystkim obniża jakość płodów rolnych, w szczególności owoców i warzyw. Owoce rosnące w warunkach suszy są zazwyczaj mniejsze, gorzej wybarwione i częściej zapadają na choroby przechowalnicze niż te rosnące w warunkach komfortu wodnego (Dori i in. 2005, Day 1997, Perez-Pastor i in. 2007, Treder i in., 2009). Polska jest trzecim w Europie producentem owoców i czwartym warzyw, blisko 30% produkcji jest eksportowane w formie świeżej lub przetworzonej. Głównym odbiorcą naszych produktów ogrodniczych są kraje Unii Europejskiej i Rosja. Rynek żywności, w tym najbardziej lukratywny rynek owoców konsumpcyjnych, jest bardzo konkurencyjny.

Aby zachować na nim wysoką pozycję, polscy producenci muszą utrzymać jakość swoich produktów, przy stałym obniżaniu kosztów. Dlatego tak ważne jest nawadnianie upraw. Ocenia się, że dla zapewnienia wysokich plonów dobrej jakości owoców należy dostarczyć za pomocą nawadniania średnio 100-150 mm wody w okresie wegetacji. Są to stosunkowo duże ilości wody w odniesieniu do skromnych zasobów Polski. Określona ilość dostępnej wody i rosnące na nią zapotrzebowanie (intensyfikacja produkcji roślin i zmiany klimatyczne) zmusza do stosowania w praktyce jak najbardziej efektywnych metod nawadniania. Badania ankietowe prowadzone przez autorów projektu wśród producentów sadowniczych (Treder i in. 2011) wskazują na pozytywny kierunek rozwoju nawodnień w Polsce – np. w sadownictwie dominującym (ok. 78%) systemem nawadniania w gospodarstwach są wodo oszczędne instalacje kroplowe. Niestety, nikt z prawie 1000 respondentów nie znał żadnej metody szacowania potrzeb wodnych roślin. Ponad 80% użytkowników systemów nawodnieniowych deklarowało, że nawadnia „na oko". Badania te wykazały, że olbrzymia większość producentów nie stosuje jakichkolwiek wiarygodnych kryteriów szacowania potrzeb nawodnieniowych, co w praktyce wiąże się z bardzo nieracjonalnym wykorzystaniem wody.

Jednym z możliwych do zastosowania w praktyce kryteriów nawadniania roślin jest pomiar potencjału wody w glebie lub wilgotności gleby. Przed wyczerpaniem w profilu glebowym wody łatwo dostępnej powinno nastąpić nawadnianie. Wymaga zastosowania specjalistycznej aparatury pomiarowej (ten-

sjometry, mierniki wilgotności). Ilość niezbędnych do zastosowania czujników pomiarowych uzależniona jest od zmienności glebowej oraz liczby uprawianych gatunków i odmian roślin. Nie bez znaczenia jest także wiek roślin i zastosowana rozstawa. Okazuje się więc, że metoda już na początku wymaga poważnych nakładów na sprzęt pomiarowy, a na etapie użytkowania odpowiedniej obsługi (prowadzenie pomiarów, analiza wyników), co podnosi koszty jej zastosowania. Jest to szczególnie ważne dla mniejszych gospodarstw, które mają bardzo ograniczone zdolności inwestycyjne. Dlatego na całym świecie przyjmowana jest zasada, że potrzeby wodne roślin określane są na podstawie pomiarów parametrów klimatycznych, a lokalnie stosowany pomiar wilgotności gleby jest elementem uzupełniającym (kalibracyjnym) dla całego systemu obliczeń. Takie podejście pozwala szacować potrzeby w skali makro- i mikroregionów w dowolnej liczbie kombinacji (Doorenbos i Pruitt, 1977, Xing i in. 2008). W praktyce do szacowania ewapotranspiracji stosowane są zarówno rozbudowane, jak i uproszczone modele kalkulacyjne. Modele rozbudowane wymagają wprowadzenia danych o radiacji słonecznej, temperaturze powietrza, prędkości wiatru oraz wilgotności powietrza. Do szacowania ewapotranspiracji za pomocą prostych modeli wystarczy np. tylko przebieg temperatury powietrza, lub temperatura i wilgotność powietrza (Treder i in. 2010).

MATERIAŁ I METODY

W ramach Programu Wieloletniego 2008 – 2014 w Instytucie Ogrodnictwa prowadzone jest 50 zadań badawczych. Jednym z nich jest zadanie 2.2. *„Optymalizacja nawadniania upraw sadowniczych w Polsce z uwzględnieniem przebiegu pogody i zasobów wodnych gleby w głównych rejonach upraw sadowniczych”*. Efektem podjętych prac ma być poprawa efektywności wykorzystania wody do nawadniania roślin sadowniczych. Narzędziem do uzyskania planowanego celu jest opracowanie internetowego serwisu zaleceń nawodnieniowych oraz opracowanie i wdrożenie za pomocą internetu prostych metod szacowania potrzeb wodnych roślin sadowniczych.

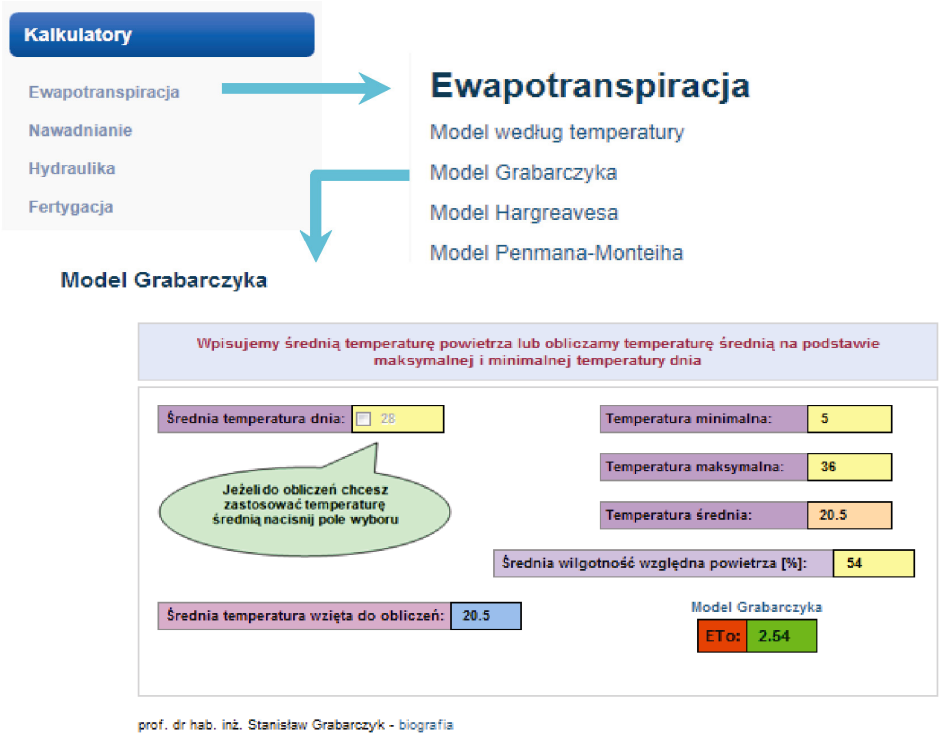
Serwis został umieszczony na serwerze Instytutu Ogrodnictwa pod adresem http://www.nawadnianie.inhort.pl. Jest do niego także dostęp z głównej strony Instytutu Ogrodnictwa - http://www.inhort.pl, po wybraniu linku Serwis Nawodnieniowy. Strona została wykonana w oparciu o System Zarządzania Treścią (ang. *Content Management System*) Joomla CMS (http://www. joomla.org) i posiada budowę modułową, co pozwala na dalszą rozbudowę serwisu i uzupełnianie go o nowe składniki zwiększające zarówno jego wartość merytoryczną jak i atrakcyjność dla użytkownika końcowego (Rohmel 2010). Niezbędnym do budowy serwisu było wykorzystanie komponentu umożliwiającego umieszczanie w systemie CMS własnego kodu HTML, PHP, Java Script i CSS. W trakcie budowy serwisu wykorzystano framework JQuery, napisany w języku

Java Script, który umożliwia interakcję użytkownika z elementami serwisu. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/JavaScript. Wykorzystano także technologię AJAX, która umożliwia tworzenie dynamicznych serwisów z zawartością aktualizowaną, bez konieczności przeładowywania strony. Umożliwia to bardziej dynamiczną interakcję z użytkownikiem.

Serwis zawiera aktualne i historyczne dane meteorologiczne oraz klimatyczny bilans wodny. Dane meteorologiczne pozyskiwane są za pomocą stacji pomiarowych iMetos firmy Pessl. Dane pomiarowe przechowywane są na serwerach producenta, a dostęp do nich z możliwością wyboru odczytywanych parametrów uzyskiwany jest po zalogowaniu się na stronie producenta i wpisaniu indywidualnego kodu dostępu. W celu pobrania danych meteorologicznych z serwera w Austrii wykorzystano technologię SOAP (ang. *Simple Object Access Protocol)* oraz język WSDL (ang. *Web Services Description Language*) http://www.w3.org/TR/soap. SOAP jest to protokół zdalnego dostępu do baz danych. Komunikaty w SOAP-ie przekazywane są za pośrednictwem języka XML. Oparta na nim aplikacja Windows Sync Module zawiera funkcje i wywołania dające możliwość pobrania danych klimatycznych do lokalnej bazy danych http://metos.at/tiki/tiki-index?page=Windows Sync Module. W najbliższej przyszłości planuje się dołączyć do serwisu następne stacje meteorologiczne, tak aby danymi pomiarowymi objąć jak największą powierzchnię kraju. Użytkownicy, których sady zlokalizowane są na obszarach objętych pomiarami meteorologicznymi mogą bezpośrednio korzystać z danych o ewapotranspiracji i opadach. Jednak ze względu na naturalną dużą zmienność opadów deszczu (Treder i inni 2011a) użytkownik ma możliwość korekty danych, poprzez wprowadzenie na stronę własnych pomiarów opadów. Jeżeli użytkownik nie korzysta z danych pomiarowych może sam wyznaczyć ewapotranspirację wskaźnikową za pomocą modeli obliczeniowych zawartych w aplikacji „**Kalkulatory”** (rys. 1). W przypadku posiadania pełnych danych meteorologicznych obliczenia można wykonać za pomocą modelu Penmana-Monteiha (Allen 1986), gdy dane są niepełne użytkownik ma do dyspozycji trzy dodatkowe modele, od najprostszego obarczonego największym błędem modelu temperaturowego, po model Grabarczyka (Grabarczyk i Żarski 1992) lub Hargreavesa (Hargreaves i Samani 1985).

W pozostałych aplikacjach z grupy „**Kalkulatory”** można oszacować potrzeby wodne roślin sadowniczych i ustalić dawki nawadniania, jak też przeprowadzić obliczenia przydatne przy prowadzeniu fertygacji oraz obliczenia hydrauliczne.

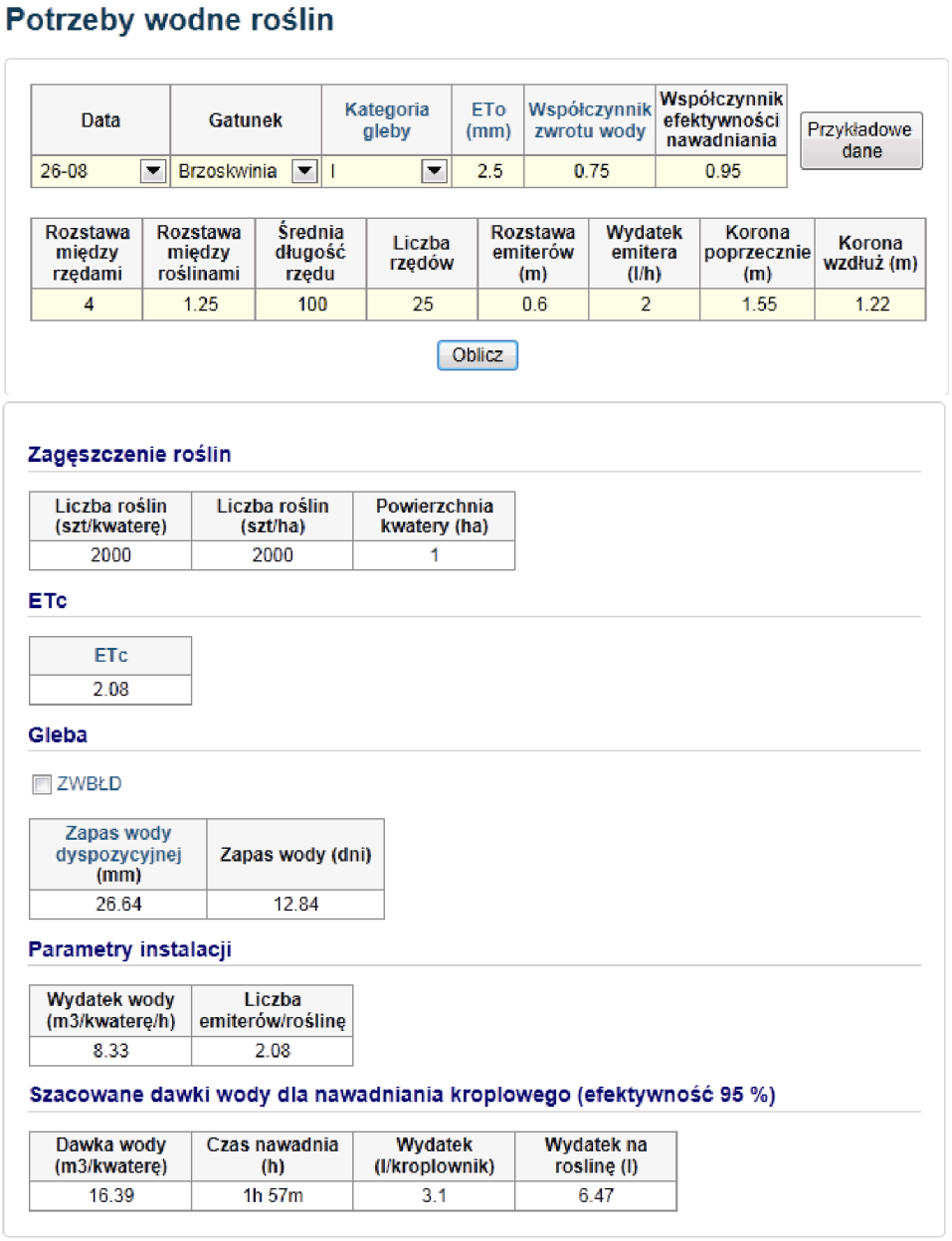
„Kalkulatory Nawodnieniowe” – to aplikacje, za pomocą której użytkownik może opracować strategię nawadniania. Obliczenia można prowadzić dla systemów kroplowych, mini zraszania i deszczowania. Po wpisaniu parametrów dotyczących rozstawy drzew i zastosowanego systemu nawodnieniowego, użytkownik dokonuje obliczeń np. niezbędnego czasu nawadniania przy zakładanej dawce wody w mm, litrach na drzewo lub litrach na emiter.



http://www.nawadnianie.inhort.pl/eto/28-eto-grabarczyk

Rysunek 1. Zrzut ekranu aplikacja Kalkulatory → Ewapotranspiracja → Model Grabarczyka
Figure 1. Screen capture of 'Calculators' application software → Evapotranspiration → Grabarczyk model

Bardzo ważną jest aplikacja **„Potrzeby wodne roślin"** (rys. 2), która pozwala na wyznaczenie potrzeb wodnych głównych gatunków roślin sadowniczych**.** Użytkownik określa m.in. gatunek dla którego prowadzone będą obliczenia, rozstawę roślin, cechy charakterystyczne instalacji nawodnieniowej, typ gleby oraz wysokość ewapotranspiracji, którą może uzyskać ze stacji meteorologicznych lub obliczyć za pomocą aplikacji „**Ewapotranspiracja"**. Potrzeby wodne określonego gatunku (ETc) szacuje się poprzez pomnożenie wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej (ETo) i wartość współczynnika roślinnego k specyficznego dla każdego gatunku. Jest to formuła (ETc = k ETo) (Allen i in. 1998). Wynik jak się uzyskuje to minimalna dawka wody lub niezbędny czas nawadniania dla zrównoważenia potrzeb wodnych roślin dla określonego dnia kalendarzowego i wielkości ewapotranspiracji.



http://www.nawadnianie.inhort.pl/potrzeby-wodne-roslin

Rysunek 2. Zrzut ekranu aplikacja Potrzeby wodne roślin
Figure 2. Screen capture of 'Water requirements' application software

Aplikacja może być przydatna nie tylko, dla sadowników ale także studentów i pracowników naukowych. Przy jej pomocy można prowadzić nawadnianie lub przeprowadzać analizy symulacyjne potrzeb wodnych roślin sadowniczych. W sezonie wegetacyjnym 2012 roku przeprowadzono analizę zgodności wyliczanych potrzeb wodnych w stosunku do rzeczywistych dawek wody przy nawadnianiu prowadzonym automatycznie w oparciu o pomiar wilgotności gleby. Doświadczenie prowadzono na kwaterze jabłoni odmiany `Fuji BeniShogun`/M.9 posadzonych w 2010 roku w Sadzie Pomologicznym Instytutu Ogrodnictwa w Skierniewicach.

Monitorowanie wilgotności gleby w trakcie sezonu wegetacyjnego prowadzono przy pomocy sondy pojemnościowej Diviner 2000 (Sentek Technologies, Australia) (Groves i Rose 2004). Pomiary wykonywano w odstępach tygodniowych. Sonda umożliwia pomiar zawartości wody w profilu glebowym do głębokości 60 cm (w warstwach co 10 cm). Dodatkowo praca systemu nawodnieniowego była kontrolowana za pomocą czujników pojemnościowych EC-5 (Decagon Devices, USA) zintegrowanych z układem sterującym elektrozaworami. Bezpośrednio w sadzie jest zlokalizowana stacja meteorologiczna iMetos, za pomocą której prowadzone są pomiary opadów i wyznaczana jest ETo. Uzyskane ze stacji dane posłużyły do wyznaczenia klimatycznego bilansu wodnego (Opady – ETo) oraz bilansu na podstawie danych uzyskanych za pomocą aplikacji internetowej (Opady – ETc). W tabeli 1 zestawiono także rzeczywiste sumy nawadniania kwatery jabłoni dla odpowiednich okresów bilansowych. Otrzymane wyniki wykazują znaczne różnice pomiędzy klimatycznym bilansem wodnym a bilansem wodnym szacowanym, uwzględniającym współczynnik roślinny „k" oraz wielkość roślin. Różnice te były szczególnie widoczne w miesiącach wiosennych kiedy ze względu na małą powierzchnie liści transpiracja była niewielka. Nie uwzględnia tego zjawiska bilans klimatyczny ale doskonale go opisuje współczynnik „k" zastosowany do wyznaczania ewapotranspiracji rzeczywistej określonego gatunku roślin. Dla większości okresów bilansowych wykazano wysoką zgodność danych szacowanych z rzeczywistymi dawkami wody. Jedynie stosunkowo dużą różnicę zaobserwowano w maju (1 – 31 V), kiedy to wyliczone niedobory wody dla kwatery wyniosły 32 mm, a zastosowano dawkę nawadniania 9,4 mm.

Przebieg zmian wilgotności gleby w trakcie analizowanego okresu przedstawiono na rys. 3. Nawadnianie rozpoczęto od połowy maja, gdy zawartość wody w glebie obniżyła się poniżej progu ustalonego jako optymalny (ok. 150 mm dla warstwy 0 - 60 cm). Różnica pomiędzy dawką wody a danymi szacunkowymi wynikała z nieuwzględnienia w okresie bilansowym zapasu wody z poprzedniego okresu (1 – 30 IV to 10,3 mm) oraz podsiąku kapilarnego przy wysokim poziomie wody gruntowej. Gdy poziom wody gruntowej obniżył się współczynnik korelacji pomiędzy wyznaczanymi automatycznie dawkami wody a dawkami szacowanymi w aplikacji internetowej wynosił 0,85. Aby

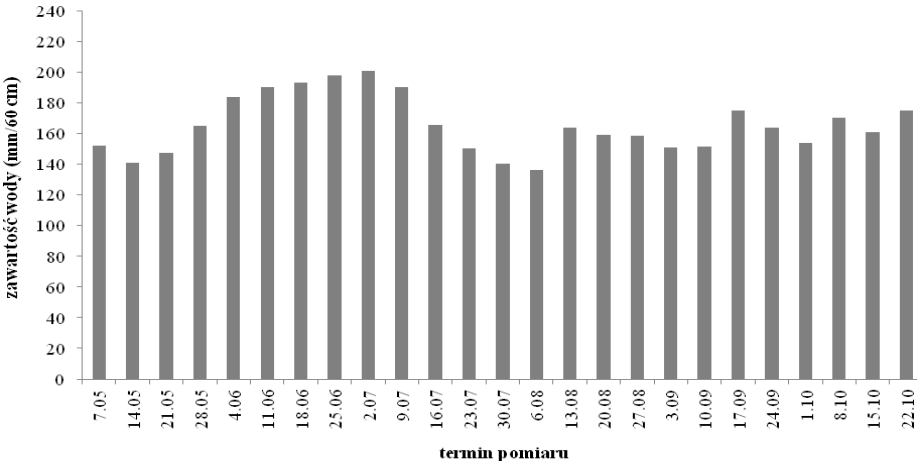
w modelu szacunkowym uwzględnić przychody wody pochodzące z podsiąkania, wprowadzono dodatkowy parametr zwany współczynnikiem zwrotu wody. Określa on jaka ilość wody oszacowana na podstawie danych meteorologicznych jako potrzeby wodne uprawy ma być podana przez system nawodnieniowy. W przypadku wysokiego poziomu wody gruntowej występuje intensywne podsiąkanie, dochodzące do poziomu warstwy ornej. Woda podsiąkowa jest wtedy istotnym przychodem w całym bilansie wodnym uprawy. Wstępne wyniki prowadzonych pomiarów wykazały, że przy intensywnym podsiąkaniu wody współczynnik zwrotu może osiągać wartość nawet poniżej 0,5 (zazwyczaj w okresie wiosennym). W miarę obniżania się poziomu wody gruntowej podsiąkanie ma coraz mniejszy udział w bilansie wodnym. W przypadku niskiego (poniżej 2,5 m) poziomu wody gruntowej i przedłużającej się suszy, współczynnik zwrotu wody może osiągać wartość 1. Oznacza to, że jedynym źródłem dodatkowej wody w glebie jest woda podawana przez system nawodnieniowy – nie występuje podsiąkanie wody z głębszych warstw gleby.

W okresie od 13.07 do 05.08 nawadnianie nie było prowadzone (przebudowa instalacji nawodnieniowej). Duża liczba i suma opadów w lipcu (ok. 69 mm) spowodowała, że obserwowane obniżenie się wilgotności gleby nie wpłynęło niekorzystnie na wzrost i rozwój roślin. Tendencja malejąca utrzymywała się do ok. 6 sierpnia. W tym dniu wznowiono pracę systemu nawadniania, co spowodowało zwiększeniem wilgotności w profilu gleby, która utrzymywała się na optymalnym poziomie do końca sezonu wegetacyjnego.

Tabela 1. Opady, ewapotranspiracja wskaźnikowa (ETo) i rzeczywista (ETc) oraz wartości bilansu wodnego dla wybranych okresów sezonu wegetacyjnego
Table 1. Precipitation, reference evapotranspiration (ETo), crop evapotranspiration (ETc) and values of climatic water balance for the selected periods during the vegetation season.

Okres	Opady (mm)	ETo (mm)	Opady – ETo (mm)	ETc (mm)	Opady – ETc (mm)	Nawadnianie (mm)
1 - 30 IV	28,6	60,0	-31,4	18,3	10,3	0,0
1 - 31 V	12,6	86,8	-74,2	44,6	-32,0	9,4
1 - 30 VI	59,6	90,0	-30,4	75,2	-15,6	17,3
1-12 VII *	44,6	40,8	3,8	40,1	4,5	9,9
6 - 31 VIII *	51,4	67,6	-16,2	59,8	-8,4	8,1
1 - 30 IX	36,4	48,0	-11,6	40,8	-4,4	2,0
1 - 31 X	38,2	24,8	13,4	19,8	18,4	0,0
Suma	271,4	418,0	-146,6	298,6	-27,2	46,8

* W okresie od 13 VII do 5 VIII – przebudowa instalacji nawodnieniowej (brak nawadniania)
Źródło: własne



Rysunek 3. Zmiany zawartości wody w glebie (w profilu 0 – 60 cm)
Figure 3. Changes in soil water content (profile 0 - 60 cm)

Źródło: własne

Serwis internetowy zawiera także słownik wyjaśniający niektóre pojęcia zawarte na stronie oraz literaturę związaną z tematyką nawodnieniową. W zakładce '**artykuły**' użytkownik ma możliwość przeglądania zasobów serwisu w oparciu o wybierane z listy słowa kluczowe. Baza tekstów jak i hasła w słowniku będą konsekwentnie uzupełniane. Intencją autorów jest to aby były one przydatne nie tylko dla ogrodników ale także studentów i pracowników naukowych, aby można było tu znaleźć artykuły popularne i publikacje naukowe.

PODSUMOWANIE

Już pierwsze miesiące od uruchomienia serwisy potwierdzają duże zainteresowanie internautów informacjami w nim zawartymi. Nawet w okresie zimowym dziennie odnotowywane jest po kilkadziesiąt odwiedzin na stronie serwisu nawodnieniowego. Wstępne badania wykazały wysoką zgodności wyliczanych za pomocą serwisu potrzeb wodnych roślin sadowniczych w stosunku do rzeczywistych dawek wody stosowanych w sadzie doświadczalnym. Potwierdza to praktyczną przydatność szacowania potrzeb wodnych roślin sadowniczych na podstawie danych meteorologicznych do prowadzenia nawadniania w gospodarstwach produkcyjnych.

BIBLIOGRAFIA

Allen R.G. *Penman for all seasons*. Proc. ASCE, J. Irrigation and Drainage Eng.112, 1986, s. 348-368.

Allen R.G., Pereira S., Raes D., Smith M. *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, 1998, 300 ss.

Banaszak J. *Stepowienie Wielkopolski pół wieku później.* Wydawnictwo Akademii Bydgoskiej, Bydgoszcz, 2003, 266 ss.

Doorenbos J., Pruitt W.O. *Guidelines for predicting crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, 1977, 176 ss.

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

Hargreaves G.H., Samani Z.A. *Reference crop evapotranspiration from temperature.* Appl. Eng. Agricult. 1, 1985, s. 96-99.

Koźmiński C., Michalska B. *Atlas uwilgotnienia gleby pod roślinami uprawnymi w Polsce*. AR Szczecin, 1995, s.56

Kuchar L., Iwański S. *Symulacja opadów atmosferycznych dla oceny potrzeb nawodnień roślin w perspektywie oczekiwanych zmian klimatycznych.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 5, 2011, s. 7-18.

Łabędzki L. *Przewidywane zmiany klimatyczne a rozwój nawodnień w Polsce*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 3, 2009, s. 7-18.

Lobell D.B., Burke M.B., Tebaldi C., Mastrandrea M.D., Falcon W.P., Naylor R.L. Prioritizing *climate change adaptation needs for food security in 2030*. Science 319, 2008, s. 607–610.

Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P., van der Linden P.J., Hanson C.E., (eds), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2007, 976 ss.

Pérez-Pastor A., Ruiz-Sánchez M.C., Martínez J.A., Nortes P.A., Artés F., Domingo F. Effect of deficit irrigation on apricot fruit quality at harvest and during storage. J. Sci. Food Agric. 87, 2007, s. 2409–2415.

Rahmel D. *Joomla! Profesjonalne tworzenie stron WWW*. Helion. Gliwice, 2010, ss. 448

Treder W,. Klamkowski K., Krzewińska D., Tryngiel-Gać A. *Najnowsze trendy w nawadnianiu upraw sadowniczych - prace badawcze związane z nawadnianiem roślin prowadzone w ISK w Skierniewicach.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 6, 2009, s. 95-107.

Treder W. Wójcik K. Żarski J. *Wstępna ocena możliwości szacowania potrzeb wodnych roślin na podstawie prostych pomiarów meteorologicznych*. Zeszyty Naukowe Instytutu Sadownictwa i Kwiaciarstwa T. 18, 2010, s. 143-153.

Treder W., Wójcik K., Klamkowski K., Tryngiel-Gać A. *Ocena przestrzennej zmienności występowania opadów w Polsce centralnej w sezonie wegetacyjnym 2010 roku.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 5, 2011, s. 49-60.

Treder W., Wójcik K., Tryngiel- Gać A., Krzewińska D., Klamkowski K. *Rozwój nawodnień roślin sadowniczych w świetle badań ankietowych.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 5, 2011, s. 61-69.

Xing Z., Chow L., Meng F.R., Res H.W., Stevens L., Monteith L. *Validating evapotranspiration equations using Bowen Ratio in New Brunswick. Maritime Canada*. Sensors 8, 2008, s. 412-428.

Opracowanie wykonano w ramach zadania: Zadanie 2.2 „Optymalizacja nawadniania upraw sadowniczych w Polsce z uwzględnieniem przebiegu pogody i zasobów wodnych gleby w głównych rejonach upraw sadowniczych", Programu Wieloletniego *„Rozwój zrównoważonych metod produkcji ogrodniczej w celu zapewnienia wysokiej jakości biologicznej i odżywczej produktów ogrodniczych oraz zachowania bioróżnorodności środowiska i ochrony jego zasobów",*
finansowanego przez MRiRW.

Prof. dr hab.Waldemar Treder
Dr Krzysztof Klamkowski
Mgr Anna Tryngiel-Gać
Mgr Daniel Sas
Mgr Tomasz Pych
tel. 46 8345246, e-mail:Waldemar.Treder@inhort.pl
Instytut Ogrodnictwa
96-100 Skierniewice, ul Pomologiczna 18