



**PROGNOZA POTREB WODNYCH
– INTERNETOWA PLATFORMA PROGNOZOWANIA
POTREB WODNYCH ROŚLIN SADOWNICZYCH
ZREALIZOWANA W RAMACH PROJEKTU PROZA**

*Waldemar Treder¹, Bogumił Jakubiak², Krzysztof Klamkowski¹,
Witold Rudnicki², Miron Kurska², Anna Tryngiel-Gać¹*

¹Institut Ogrodnictwa w Skierniewicach, ²Uniwersytet Warszawski

***WATER REQUIREMENT FORECAST-INTERNET
PLATFORM FOR FORECASTING FRUIT CROP WATER
NEEDS PREPARED IN THE FRAMES OF PROZA PROJECT***

Streszczenie

W 1997 roku Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego Uniwersytetu Warszawskiego (ICM) uruchomiło publiczny, internetowy serwis pogodowy, który dostarcza szczegółowych prognoz dla odbiorców indywidualnych i jest podstawą do prowadzenia wielu powiązanych projektów naukowych. Rozpoczęty we wrześniu 2009 trzyletni projekt PROZA korzysta z serwisu pogodowego ICM. Jednym z partnerów ICM w projekcie PROZA jest Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach, który jest współwykonawcą Zadania 3 – „Zastosowanie wyników numerycznych prognoz pogody w leśnictwie i sadownictwie”. W ramach tego zadania opracowano internetową platformę prognoz występowania przymrozków i potrzeb wodnych roślin sadowniczych <https://prognozy.projekt-proza.pl/>. Użytkownik po zalogowaniu ma możliwość indywidualnego skonfigurowania prognozy. Prognoza Potrzeb Wodnych Roślin Sadowniczych, zawiera informacje o prognozach na najbliższe trzy dni, ewapotranspiracji wskaźnikowej, bilansie klimatycznym oraz potrzebach wodnych głównych gatunków roślin sadowniczych. Prognoza przewiduje także zawartość wody dyspozycyjnej lub bardzo łatwo dostępnej w strefie korzeniowej roślin. Dane takie mogą znacznie ułatwić sterowanie nawadnianiem, a przez to zwiększyć efektywność wykorzystania wody. Wstępna ocena jakości prognozowania wykazuje jego praktyczną przydatność.

Słowa kluczowe: prognoza pogody, potrzeby wodne roślin, bilans klimatyczny

Summary

In 1997 the Interdisciplinary Centre for Mathematical and Computational Modelling (ICM), University of Warsaw launched the Internet weather service which delivers numerical weather forecasts for individual consumers and has become a basis for several weather-related scientific projects. The project "Operational decision-making based on atmospheric conditions" (PROZA) (started in September 2009) utilizes data obtained from weather service provided by ICM. The Research Institute of Horticulture is one of the partners in the project. The institute participates in task 3 of the project: "Application of numerical weather forecasts in forestry and fruit farming". In the frame of this task, an Internet platform for forecasting of spring frosts and fruit crop water needs was developed. <https://prognozy.projekt-proza.pl/>. A user (after logging in) has access to the following information (forecast is prepared for 3 days): ETo, precipitation, climatic water balance and water requirements of major fruit crops. Data on amount of (easily) available water in root zone are also available. The information provided by the service make controlling of irrigation easier and thus improve agricultural water use efficiency. The estimation of forecasting quality showed that the accuracy of forecast was high proving its practical value for fruit growers.

Key words: weather forecast, climatic water balance

WPROWADZENIE

Charakterystyczną cechą klimatu Polski jest duża przestrzenna i czasowa zmienność ilości opadów, co utrudnia szacowanie potrzeb nawodnieniowych roślin oraz prognozowanie bilansu wodnego dla większego obszaru (Kuchar, Iwański 2011). Niedostateczna ilość wody podczas sezonu wegetacyjnego nie tylko istotnie zmniejsza plony, ale przede wszystkim obniża jakość płodów rolnych, a w szczególności owoców. 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, a blisko 30% produkcji jest eksportowane w formie świeżej lub przetworzonej. Rynek żywności, w tym najbardziej dochodowy rynek owoców konsumpcyjnych jest bardzo konkurencyjny. Aby zachować wysoką na nim pozycję, polscy producenci muszą utrzymać wysoką jakość swoich produktów, przy stałym obniżaniu kosztów. Do tego niezbędne jest nawadnianie upraw. W komunikacie Komisji Europejskiej do Parlamentu Europejskiego z roku 2007 w sprawie niedoboru wody i suszy na terenie Unii Europejskiej zwraca się uwagę na fakt, że ponad 24% pobieranej wody jest marnowane i należy wdrożyć działania mające temu przeciwdziałać. Dlatego też zaleca się m.in. opracowanie i wdrożenie systemów zarządzania zasobami wodnymi dla celów rolniczych (Framer i in. 2008). Podstawowym celem takich systemów jest zwiększenie efektywności nawadniania. Założony

cel można uzyskać dzięki zastosowaniu najbardziej efektywnych systemów nawadnieniowych, wprowadzeniu do praktyki optymalnych kryteriów nawadniania oraz prognozowania bilansu klimatycznego i potrzeb wodnych roślin. Precyzyjna, dedykowana lokalnie prognoza pogody uwzględniająca przewidywany bilans wodny może być wiarygodnym kryterium do podjęcia decyzji o konieczności zastosowania nawadniania.

W warunkach klimatycznych Polski opady są głównym źródłem wody dla upraw polowych. Ich efektywność zależna jest od ilości, intensywności, ukształtowania i pokrycia terenu oraz początkowej wilgotności gleby. W przypadku, gdy deszcz wystąpi bezpośrednio po zastosowanym nawadnianiu, jego efektywność jest skrajnie mała. Dlatego w przypadku roślin o głębokim systemie korzeniowym (np. drzewa owocowe), dodatkowe oszczędności wody można uzyskać uzależniając zastosowanie nawadniania od informacji opisującej prognozę pogody. Postęp w technikach pomiarowych, obliczeniowych i informatycznych wpłynął na to, że wzrost jakości, a przez to przydatności prognoz pogody.

Dzięki telekomunikacji i internetowi prognozy pogody stały się obecnie powszechnie dostępne. W 1997 roku Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego Uniwersytetu Warszawskiego (ICM) uruchomiło publiczny, internetowy serwis pogodowy, który dostarcza szczegółowych prognoz dla odbiorców indywidualnych i jest podstawą do prowadzenia wielu powiązanych projektów naukowych. ICM w sposób operacyjny eksploatuje dwa modele numerycznych prognoz pogody. Różne wersje modelu UM (Unified Model) opracowanego w Met Office w Wielkiej Brytanii są eksploatowane od roku 1997. Obecnie działa operacyjnie wersja 6.6 tego modelu. Jest on liczony codziennie cztery razy na dobę, dla przebiegów z godziny 00 UTC, 06 UTC, 12 UTC i 18 UTC. Jest to model niehydrostatyczny, o rozdzielczości poziomej 4 km, posiadający 38 poziomów w pionie. Obszar obliczeń obejmuje Europę Środkową, a zakres czasowy prognozy wynosi 48 godzin (Melonek 2011). Drugim modelem wykorzystywanym w ICM od roku 2000 jest model COAMPS (Hodur 1997), udostępniony przez Laboratorium Badawcze Marynarki Wojennej Stanów Zjednoczonych. Liczony jest on w ICM na trzech zagnieżdżonych siatkach obliczeniowych, o rozdzielczości poziomej 39 km, 13 km i 4,3 km i 30 poziomach w pionie. Prognozy w tych konfiguracjach liczone są na okres odpowiednio 120 godzin, 84 godzin i 60 godzin. Początkowo COAMPS był modelem badawczym, teraz operacyjnie działa wersja 3.1.1. Wyniki obu modeli (oraz modelu falowania dla Bałtyku) są dostępne publicznie na stronie ICM pod adresem <http://new.meteo.pl/>. W obu modelach uwzględniono cykl hydrologiczny, co umożliwia szacowanie zwiększania zawartości wody w gruncie, w okresach w których występują opady, jej przechowywanie w głębszych warstwach gruntu i uwalnianie wilgoci w okresach suchych. W modelu COAMPS modułem zarządzającym cyklem hydrologicznym jest model NOAH,

opracowany kilka lat temu przez kilka amerykańskich instytucji (Ek i in. 2003). W modelu UM cykl hydrologiczny jest opisany modelem JULES (Joint UK Land Environment Simulator). Jest to model powierzchni łądu przeznaczony do symulacji pionowej wymiany wody, ciepła i węgla pomiędzy podłożem a atmosferą.

Dziedziną gospodarki, która jest szczególnie zależna od przebiegu pogody jest rolnictwo (Petr 1991). Tutaj od przebiegu pogody zależy wielkość i jakość plonu a także możliwości zastosowania odpowiedniej agrotechniki i ochrony roślin. Dlatego też często agrometeorologiczne prognozy są elementem składowym całego systemu wspomagania decyzji prac agrotechnicznych lub zabiegów ochrony roślin (Ogallo i in. 2000).

Wychodząc naprzeciw zapotrzebowaniu rolnictwa podjęto prace badawczo-wdrożeniowe w ramach projektu PROZA (Platforma wspomagania decyzji operacyjnych zależnych od stanu atmosfery) (Jakubiak i in. 2011). Projekt PROZA ma charakter aplikacyjny i powstał w odpowiedzi na realne zapotrzebowanie podmiotów gospodarczych. Ma on na celu zwiększenie użyteczności badań, a szczególnie prognoz pogody prowadzonych w ICM, poprzez ich zastosowanie w różnych dziedzinach gospodarki i życia społecznego. Jednym z partnerów ICM w projekcie PROZA jest Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach, który jest współwykonawcą Zadania 3 – „Zastosowanie wyników numerycznych prognoz pogody w leśnictwie i sadownictwie”. W ramach tego zadania opracowano internetową platformę prognoz występowania przymrozków i potrzeb wodnych roślin sadowniczych <https://prognozy.projekt-proza.pl/>. Użytkownik po zalogowaniu ma możliwość indywidualnego skonfigurowania prognozy. Prognoza Potrzeb Wodnych Roślin Sadowniczych, zawiera informacje o prognozach na najbliższe trzy dni: ewapotranspiracji wskaźnikowej (ET_o), opadach, bilansie klimatycznym oraz potrzebach wodnych głównych gatunków roślin sadowniczych. Prognoza przewiduje także zawartość wody dyspozycyjnej lub bardzo łatwo dostępnej w strefie korzeniowej roślin (rys. 1).

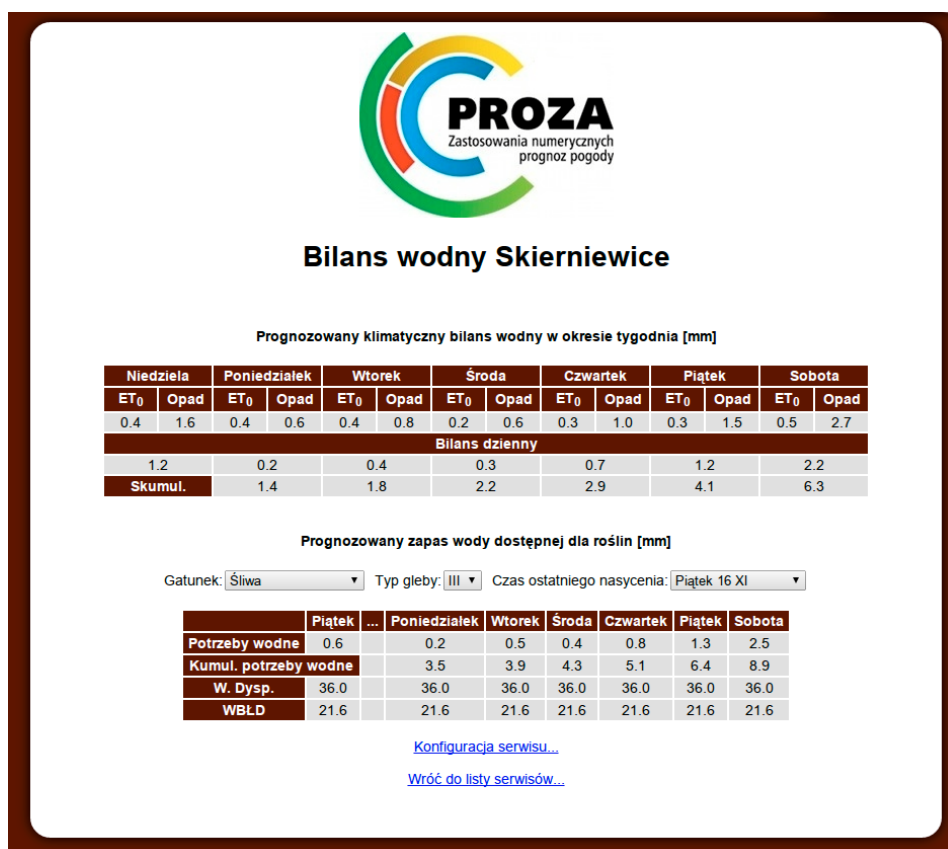
Informacje zawarte w prognozie można podzielić na dwie grupy. Pierwsza to prognozowany klimatyczny bilans wodny w okresie tygodnia. Obejmuje on 4 minione i 3 kolejne dni, uwzględniając wysokość opadów i ewapotranspirację wskaźnikową. Druga część prognozy dotyczy potrzeb wodnych roślin sadowniczych oraz szacowanych ilości wody w profilu glebowym, penetrowanym przez system korzeniowy roślin. Użytkownik ma tu możliwość wyboru gatunku roślin, dla których ma być obliczana prognoza (jabłoń, grusza, śliwa, czereśnia, brzoskwinia/morela, truskawka, malina i borówka). Wybiera się także rodzaj gleby na której rosną rośliny. Do wyboru są 4 kategorie gleb o specyficznych właściwościach wodnych:

I - Bardzo lekka - piasek luźny – pl, piasek luźny pylasty – plp, piasek słabo gliniasty – ps, piasek słabo gliniasty pylasty – psp.

II - Lekka - piasek gliniasty lekki – pgl, piasek gliniasty lekki pylasty – pglp, piasek gliniasty mocny – pgm, piasek gliniasty mocny pylasty – pgmp.

III - Średnia - glina lekka – gl, glina lekka pylasta – glp, pył gliniasty – plg, pył zwykły – plz, pył piaszczysty – plp.

IV - Ciężka - glina średnia – gs, glina średnia pylasta – gsp, glina ciężka – gc, glina ciężka pylasta – gcp, pył ilasty – pli, ił – i, ił pylasty – ip.



Rysunek 1. Przykładowe okno prognozy bilansu klimatycznego i potrzeb wodnych roślin sadowniczych.

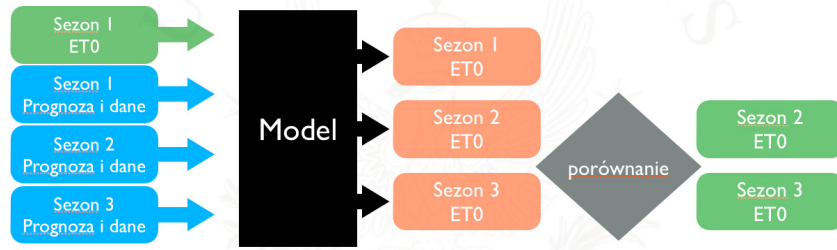
Figure 1. Screen capture with forecast of climatic water balance and water requirements of fruit crops.

Potrzeby wodne określonego gatunku roślin sadowniczych (ET_c) szacuje się poprzez pomnożenie wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej (ET₀) o wartość współczynnika roślinnego, specyficznego dla fazy wegetacyjnej każdego gatunku (ET_c = k ET₀). Wartości współczynników roślinnych przyjęto za

Allen i in. (1998). Każdy z gatunków roślin, dla których prowadzone są prognozy, ma przypisany specyficzny zasięg systemu korzeniowego, a więc również ilość wody dyspozycyjnej (W. Dysp.) lub wody bardzo łatwo dostępnej (WBLD) dla określonej gleby. Użytkownik określa datę w której zakłada, że wilgotność gleby była zbliżona do poziomu połowej pojemności wodnej (Czas ostatniego nasycenia). W praktyce może to być dzień wystąpienia wysokich opadów lub data intensywnego nawadniania. Serwis prognozuje więc nie tylko bilans klimatyczny i potrzeby wodne ale także zawartość wody dyspozycyjnej i bardzo łatwo dostępnej w profilu glebowym.

MATERIAŁ I METODY

Kluczowym elementem serwisu jest prognozowanie ewapotranspiracji wskaźnikowej. Celem prac podjętych w ICM było zbudowanie modelu pozwalającego na prognozowanie ewapotranspiracji wskaźnikowej (ET_o) obliczanej przy pomocy wzoru Penmana-Monteitha (Allen i inni 1998) z wykorzystaniem numerycznych prognoz pogody, a także szacowanie wartości ewapotranspiracji przy użyciu modelu wykorzystującego dane mierzone i dane z modelu prognostycznego. W obu przypadkach zastosowano równolegle dwa alternatywne modele. W pierwszym wartości zmiennych prognozowanych przez model zostały bezpośrednio wprowadzone do wzoru, w drugim użyto metod uczenia maszynowego dla poprawienia jakości przewidywań. Do uczenia wykorzystano archiwalne dane ze stacji meteorologicznej znajdującej się w sadzie doświadczalnym w Instytucie Ogródnictwa w Skierniewicach i archiwalne prognozy pogody z ICM UW dla sezonów 2009, 2010 i 2011 (odpowiednio Sezon 1, 2, 3). Procedura modelowania wyglądała następująco: na podstawie danych dla jednego sezonu opracowywano model i badano jakość przewidywań dla dwóch pozostałych sezonów. Jakość modelu oszacowano jako średnią z trzech modeli opracowanych dla trzech różnych lat. Model budowany w oparciu o dane pomiarowe i prognozy z sezonu 1 jest używany to wygenerowania przewidywań dla sezonów 2 i 3. ET_o obliczona na podstawie danych pomiarowych jest następnie porównywana z ET_o obliczoną z modelu (rys. 2). Model statystyczny otrzymano przy użyciu regresji nieparametrycznej metodą lasu losowego (Breiman 2001). Las losowy jest to metoda w uczeniu maszynowym, zarówno dla celów klasyfikacji, jak i regresji. Las jest zespołem składającym się z wielu (od kilkudziesięciu do kiludziesięciu tysięcy) elementarnych klasyfikatorów - drzew CART (Breiman, 1984). Każde drzewo jest zbudowane na innej próbkę danych, uzyskanej z oryginalnej próby (o liczebności N) przez wylosowanie ze zwracaniem N elementów. Na każdym etapie budowy drzewa optymalny podział jest dokonywany na podstawie losowego podzbioru zmiennych. Taki sposób budowy lasu sprawia, że indywidualne drzewa są słabo ze sobą skorelowane. W wypadku regresji wartość zmiennej zależnej jest ustalana jako średnia z wartości, przypisywanych tej zmiennej przez wszystkie drzewa.



Rysunek 2. Schematyczna prezentacja procesu modelowania
Figure 2. Schematic presentation of modeling process

W końcu sezonu wegetacyjnego 2012 roku (serwis został uruchomiony testowo od 4 VIII) oceniana była jakość prognoz ETo wyznaczanych dla Skierńewic, w odniesieniu do ETo obliczanego przez stację meteorologiczną iMetos (Pessl Austria), umiejscowioną w Sadzie Pomologicznym IO. Oceniano prognozy generowane z wyprzedzeniem: 6, 12, 18, 24 i 30 godzin.

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Wyniki opisanej wyżej procedury oceny modeli obliczeniowych zaprezentowano w tabeli 1. Otrzymane wyniki wskazują, że model UM daje niewiele lepsze wyniki przewidywania niż model COAMPS.

Tabela 1. Procent zmienności ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczonej z danych pomiarowych wyjaśnianej przez różne warianty modeli zbudowanych w oparciu o numeryczne prognozy pogody

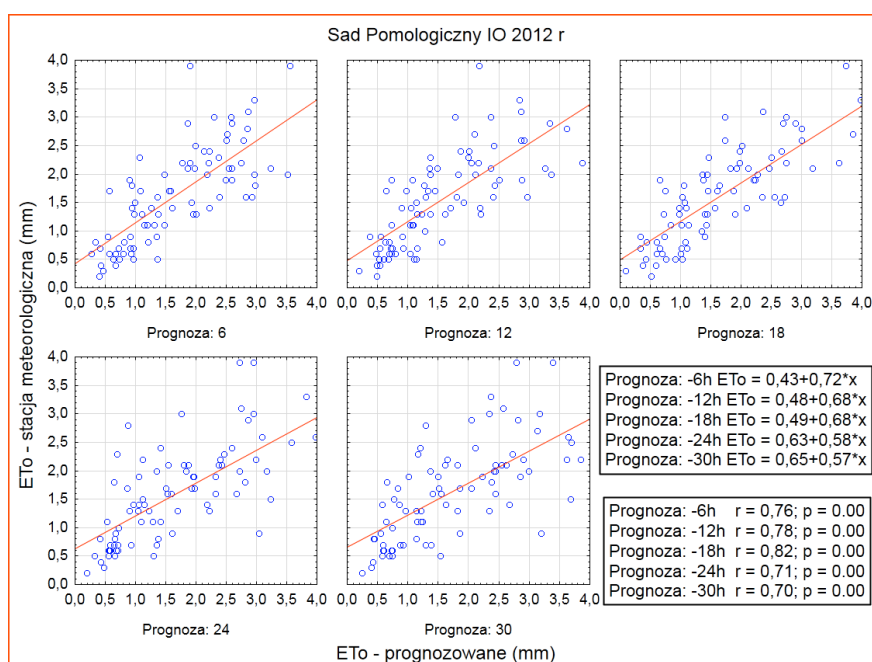
Table 1. Percent of variation of reference evapotranspiration calculated from measured data explained by different model variants constructed on a basis of numeric weather forecasts

Wyszczególnienie	Model statystyczny	Model analityczny
Model UM prognoza 12h	-	85%
Model UM prognoza 24h	-	83%
Model UM prognoza 36h	-	82%
Model COAMPS prognoza 12h	82%	84%
Model COAMPS prognoza 24h	79%	81%
Model COAMPS prognoza 36h	78%	80%
Model COAMPS średnio dla prognoz 12h i 24h	81%	83%
Model COAMPS (12h i 24h) + Temp. pomiarowa	82%	-
Model COAMPS (12h i 24h) + Temp. + Wiatr pomiarowe	85%	-
Model COAMPS (12h i 24h) + Temp., + Wilg. i Wiatr pomiar.	86%	-
Model Hargreavesa (pomiarowy)		78%

Zródło: własne.

Okazuje się, że model analityczny oparty o dane prognostyczne daje nieco lepszą zgodność z rzeczywistością niż model statystyczny. Użycie danych pomiarowych do modelu statystycznego podnosi istotnie jakość przewidywań, powyżej wartości uzyskiwanych w modelu analitycznym. Co istotne, wartość ETo szacowana na podstawie danych pochodzących z prognoz numerycznych jest bliższa wartości ETo wyliczonej z danych pomiarowych (uzyskanych ze stacji meteorologicznej, modelem Penmana-Monteitha), niż wartości ETo obliczonej przy użyciu danych pomiarowych z wykorzystaniem modelu Hargreave-sa. A zatem można traktować modele numeryczne jako wiarygodne źródło danych do szacunkowego obliczania ewapotranspiracji wskaźnikowej.

Analizy danych operacyjnych zgromadzonych po uruchomieniu serwisu prognostycznego, wykazują stosunkowo wysoką korelację pomiędzy prognoząmi ETo i danymi obliczonymi przez automatyczną stację meteorologiczną, umieszczoną w Sadzie Pomologicznym w Skierniewicach (rys. 3).

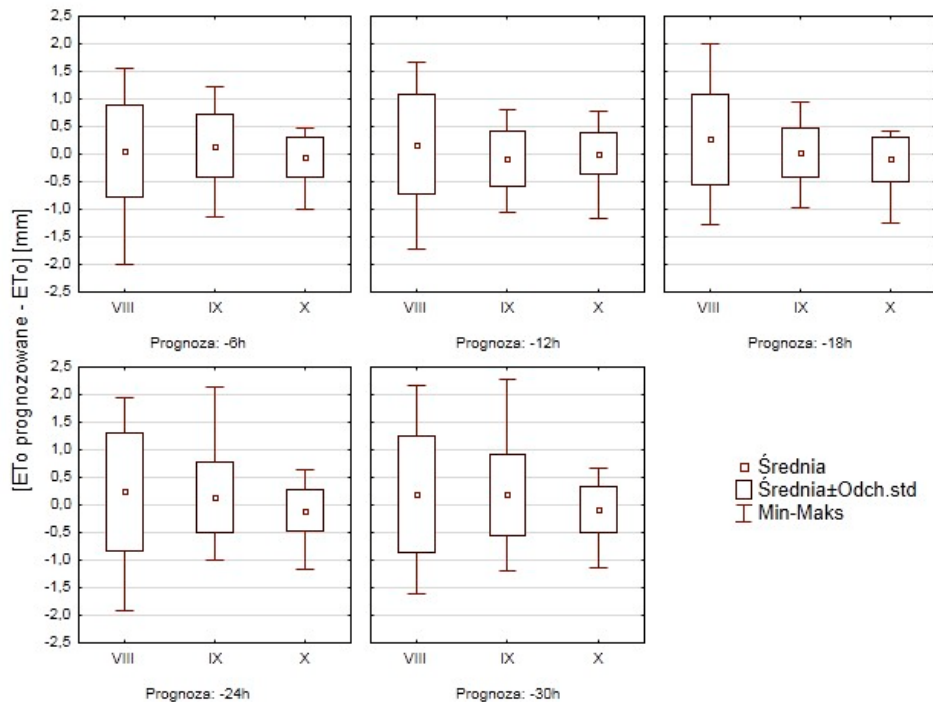


Rysunek 3. Zależność pomiędzy ewapotranspiracją wskaźnikową (ETo) wyznaczoną przez stację meteorologiczną, a prognozowaną z wyprzedzeniem 6, 12, 18, 24 i 30 godzin

Figure 3. Relationship between reference evapotranspiration (ETo) calculated by meteorological station and evapotranspiration forecasted in advance of 6, 12, 18, 24 and 30 h

Źródło: własne

Nawet dla prognozy z wyprzedzeniem 30 godzin współczynnik korelacji pomiędzy prognozami a pomiarem ma wartość 0,7. Najwyższy współczynnik korelacji $r = 0,82$ wykazano dla prognoz z wyprzedzeniem 18 h. Analiza wielkości błędów prognozy ($ETo_{\text{prognozowane}} - ETo_{\text{ze stacji meteo}}$) prowadzonych dla poszczególnych miesięcy wykazała bardzo małe średnie błędy prognoz przy stosunkowo wysokim rozrzucie pomiędzy maksymalnym i minimalnym błędem prognozy (rys. 4). Rozrzut błędów wyznaczany dla poszczególnych miesięcy oceny jest prawdopodobnie spowodowany okresowo pojawiającymi się niestabilnymi warunkami atmosferycznymi, które są trudne do prognozowania. Bardzo mały średni błąd prognoz, w poszczególnych miesiącach, jak również bardzo mały błąd prognoz za cały okres oceny (tab. 2), wykazały praktyczną przydatność prognozowania ewapotranspiracji wskaźnikowej, a przez to i potrzeb wodnych roślin.



Rysunek 4. Średni dla poszczególnych miesięcy błąd prognozowania ewapotranspiracji wskaźnikowej (ETo) w odniesieniu do prognoz z wyprzedzeniem 6, 12, 18, 24 i 30 godzin

Figure 4. Mean error (for the following months) of forecasting of reference evapotranspiration (ETo) in relation to forecasts in advance of 6, 12, 18, 24 and 30 h

Źródło: własne

Tabela 2. Sumaryczny oraz średni dzienny błąd prognozy ETo dla całego okresu (4 VIII - 31 X 2012 r.) w odniesieniu do prognoz z wyprzedzeniem: 6, 12, 18, 24 i 30 godzin
Table 2. Pooled and mean daily error of ETo forecasting for the whole period (4 August - 31 October 2012) in relation to forecasts in advance of 6, 12, 18, 24 and 46 h

Parametr	ETo (mm) stacja meteo	ETo prognozowane (mm)				
		-6 h	-12 h	-18 h	-24 h	-30 h
Sumarycznie	142	139	137	141	143	146
Błąd prognozy za okres	-----	-2,69	-5,02	-1,21	1,53	4,44
Średni dzienny błąd prognozy	-----	-0,03	-0,05	-0,01	0,02	0,05

Źródło: własne

PODSUMOWANIE

Numeryczne prognozowanie pogody stwarza możliwości przewidywania potrzeb wodnych roślin poprzez prognozowanie ewapotranspiracji wskaźnikowej ETo. Dane takie mogą znacznie ułatwić sterowanie nawadnianiem, a przez to zwiększyć efektywność wykorzystania wody. Precyzyjna prognoza dedykowana określonej odbiorcy może być wykorzystywana w procesie decyzyjnym, co pozwoli na wcześniejsze zaprogramowanie dawki wody lub zaniechanie nawadniania w przypadku wysokiego prawdopodobieństwa wystąpienia wysokich opadów deszczu. Wstępna ocena jakości prognozowania wykazuje na jego praktyczną przydatność. Bardzo mały sumaryczny błąd prognozowania ETo w ujęciu miesięcznym czy nawet 3-miesięcznym, wskazuje na przydatność danych prognostycznych nie tylko do indywidualnych decyzji o częstotliwości nawadniania, ale także do analiz scenariuszy bilansu klimatycznego i potrzeb wodnych roślin dla obszarów i okresów, gdzie brak jest jakichkolwiek mierzonych danych meteorologicznych.

BIBLIOGRAFIA

- 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.
- Breiman L., Friedman J., Stone C. J., Olshen, R. A. *Classification and regression trees*. Chapman & Hall/CRC. 1984, 358 ss.
- Breiman L. *Random forests*. Machine learning, 45(1), 2001, s. 5-32.
- Day K.R. *Orchard factors affecting postharvest stone fruit quality*. HortScience (32) 1997, s. 820-823.
- Dori K., Behboudian M.H., Zagebe-Deminguez J.A. *Water relations, growth, yield, and fruit quality of hot pepper under deficit irrigation and partial root zone drying*. Scientia Hort. (104) 2005, s. 137-149.
- Ek M., Mitchell K., Lin Y., Rogers E., Grunmann P., Koren V., Gayno K., Trappley J. *Implementation of NOAA land surface model advances in the National Centres for Environmental Protection operational mesoscale ETA model*. J.Geophys. Res. 108, 2003, s. 8851 – 8866.

- Farmer A., Bassi S., Fergusson M. *Water Scarcity and Droughts. Policy Department A: Economic and Scientific Policy, DG Internal Policies, European Parliament*. 2008, http://www.ieep.eu/assets/427/water_scarcity.pdf
- Hodur R.M. *The Naval Research Laboratory's Coupled Ocean/Atmosphere Mesoscale Prediction System (COAMPS)*. *Mon. Wea. Rev.* 135, 1997, s. 1414-1430.
- Jakubiak B., Cieślakiewicz W., Herman-Hżycki L., Lech P., Rudnicki W., Treder W. *Cele zadania i wstępne wyniki projektu PROZA*. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 6, 2011, s. 7-20.
- 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.
- Melonek M. *Porównanie wyników weryfikacji modeli numerycznych prognoz pogody działających operacyjnie w ICM*. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 6, 2011, s. 31-42.
- Ogallo L. A., Boulahya M. S., Keane T. *Applications of seasonal to interannual climate prediction in agricultural planning and operations*. *Agric. Forest Meteorol.* 103, 2000, s.159-166
- 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.
- Petr J. *Weather and yield*. Elsevier, Amsterdam, 1991. 288 ss.
- 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.

Opracowanie wykonano w ramach zadania 3.6 „Wykorzystanie numerycznych modeli pogody do prognozowania wilgotności gleby w sadach oraz opracowanie podstaw racjonalnej gospodarki zasobami wody do nawodnień” realizowanego w ramach projektu PROZA finansowanego z funduszy strukturalnych Unii Europejskiej.

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

Dr Bogumił Jakubiak
Dr Witold Rudnicki
Mgr Miron Kursa
tel. 22 8749144, e-mail: jakubiak@icm.edu.pl
Uniwersytet Warszawski
Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego
02-106 Warszawa, ul Pawińskiego 5A

