

SPRAWDZALNOŚĆ PROGNOZY NIEDOBORÓW WODY ROŚLIN UPRAWNYCH OKREŚLANYCH PRZY UŻYCIU WSKAŹNIKA SUSZY ROLNICZEJ CDI

Leszek Łabędzki¹, Ewa Kanecka-Geszke¹

¹ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy, 85-174 Bydgoszcz, ul. Glinki 60, e-mail: l.labeledzki@itp.edu.pl, e.kanecka-geszke@itp.edu.pl

STRESZCZENIE

W pracy dokonano weryfikacji prognoz deficytu wody wybranych roślin uprawnych. Wskaźnikiem deficytu wody jest wskaźnik CDI (Crop Drought Index), pokazujący wielkość redukcji ewapotranspiracji spowodowanej niedoborem wody w glebie. 10- i 20-dniowe prognozy są opracowywane w systemie monitoringu niedoboru i nadmiaru wody prowadzonego przez Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, na podstawie 14-dniowej prognozy warunków meteorologicznych uzyskiwanej z serwisu MeteoGroup. Sprawdzalność wyznaczono dla stacji Bydgoszcz, reprezentatywnej dla regionu Kujaw, dla wybranych roślin na czterech kategoriach ciężkości gleb ornych oraz dla czterech siedlisk użytków zielonych, dla lat 2013–2014. Jako kryteria weryfikacji prognoz przyjęto następujące warunki: bezwzględna różnica między wartościami CDI rzeczywistymi i prognozowanymi nie może być większa od 0,1 oraz zgodność rzeczywistych i prognozowanych klas intensywności deficytu wody. Sprawdzalność obliczono jako względną częstotliwość prognoz spełniających te kryteria. Sprawdzalność 10-dniowych prognoz niedoboru wody wyniosła 94%, a 20-dniowych 86%. Zarówno prognozy wartości wskaźnika CDI jak i prognozy klas niedoborów wody charakteryzowały się dużą sprawdzalnością (odpowiednio 91% i 89%).

Słowa kluczowe: niedobór wody dla roślin, wskaźnik suszy rolniczej CDI, prognozowanie, weryfikacja.

VERIFICATION OF FORECAST OF CROP WATER DEFICIT DETERMINED USING CROP DROUGHT INDEX CDI

ABSTRACT

In the paper the verification of crop water deficit forecasts are presented. The 10- and 20-day forecasts have been developed in the monitoring system of water deficiency and excess conducted by the Institute of Technology and Life Sciences. The analysis was performed for the Bydgoszcz station representing Kujawy Region, in the months of the growing season (April-September) in 2013–2014. Two verification criteria were adopted: the absolute difference between actual and predicted SPI cannot be greater than 0.1 and the agreement of the precipitation category classes. The verifiability is determined as a relative frequency of the forecasts meeting these criteria. It was found that the average verifiability of 10-day forecasts was equal to 94% and of 20-day forecast 86% for the assumed criteria. Both forecasts of CDI values and forecasts of water deficit classes have high verifiability (91% and 89% respectively).

Keywords: crop water deficit, crop drought index CDI, forecast, verification.

WSTĘP

Jednym z podstawowych działań prewencyjnych ograniczających skutki susz w rolnictwie jest monitorowanie deficytów wody oraz ich przewidywanie. Instytut Technologiczno-Przyrodniczy prowadzi od 2013 r. ogólnopolski system monitoringu i prognozowania deficytów i

nadmiarów wody na obszarach wiejskich, realizowany przez ITP w ramach Programu Wieloletniego „Standaryzacja i monitoring przedsięwzięć środowiskowych, techniki rolniczej i rozwiązań infrastrukturalnych na rzecz bezpieczeństwa i zrównoważonego rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich”, w latach 2011–2015. Problemem w tego typu systemach monitorowania jest tworze-

nie wiarygodnych krótkoterminowych (10 dni naprzód) i średnioterminowych (20 dni naprzód) prognoz deficytu wody dla roślin uprawnych.

Istotnym zagadnieniem w procesie prognozowania jest ocena wiarygodności prognoz. Wynikiem weryfikacji prognoz jest odpowiedź na pytanie, czy rozbieżność między odpowiedzią modelu prognostycznego a odpowiedzią systemu rzeczywistego jest istotna według przyjętych kryteriów [Ozga-Zielińska i Nawalany 1979]. W krajowej i światowej literaturze można znaleźć wiele metod oceny weryfikacji modeli prognostycznych np. Łabędzki i Bąk [2011, 2015], Melonek [2011], Ozga-Zielińska i Nawalany [1979], Treder i in. [2011], w tym także rekomendowanych do praktyki przez Światową Organizację Meteorologiczną [WMO 2008]. Interesującym kompendium wiedzy w zakresie prognozowania jest praca zbiorowa „Forecast Verification. A Practitioner’s Guide in Atmospheric Science” [Forecast ... 2012]. We wspomnianej książce Livezey [2012] omawia stosowane w prognozach deterministycznych oceny zgodności kategorii prognozowanych zjawisk ze stanem faktycznym według przyjętej do weryfikacji wielostopniowej klasyfikacji.

W pracy dokonano weryfikacji prognoz deficytu wody wybranych roślin uprawnych i trwałych użytków zielonych. Wskaźnikiem deficytu wody jest wskaźnik suszy rolniczej CDI (Crop Drought Index), pokazujący wielkość redukcji ewapotranspiracji spowodowanej niedoborem wody w glebie.

METODY I MATERIAŁ

Ocena wielkości deficytu wody dla roślin uprawnych i intensywności suszy rolniczej dokonywana jest na podstawie wskaźnika CDI [Bąk 2006, Brunini i in. 2005, Łabędzki 2006]. Wskaźnik CDI pokazuje redukcję ewapotranspiracji, spowodowanej niedoborem wody w glebie, w stosunku do ewapotranspiracji potencjalnej. O wielkości ewapotranspiracji potencjalnej ET_p decydują czynniki meteorologiczne i aktualny stan rozwoju roślin, natomiast stan uwilgotnienia gleby wpływa na wielkość ewapotranspiracji rzeczywistej ET . CDI obliczany jest według wzoru:

$$CDI = 1 - \frac{ET}{ET_p} \quad (1)$$

gdzie: ET – ewapotranspiracja rzeczywista w warunkach niedoboru wody w glebie (mm),

ET_p – ewapotranspiracja potencjalna w warunkach dostatecznego uwilgotnienia gleby (mm).

Wskaźnik CDI przyjmuje wartości:

- $CDI = 0$ gdy $ET = ET_p$
- $CDI < 1$ gdy $ET < ET_p$
- $CDI = 1$ gdy $ET = 0$

Aby ocenić wielkość niedoboru wody i intensywność suszy rolniczej, należy przeprowadzić klasyfikację, czyli zaliczyć wartości CDI do odpowiedniej klasy. Nie ma jednej, powszechnie akceptowalnej klasyfikacji niedoboru wody i suszy rolniczej według CDI . W prezentowanych badaniach zastosowano trzy klasy deficytu wody (suszy rolniczej) (tab. 1). Przyjęto, że wartością progową wskaźnika CDI , powyżej której występuje niedobór wody dla roślin i rozpoczyna się susza rolnicza, jest wartość 0,1. Oznacza to, że zmniejszenie ewapotranspiracji o 10% w stosunku do ewapotranspiracji potencjalnej nie jest uznawane za suszę rolniczą. Klasyfikację tę opracowano na podstawie badań Bąka [2006] i Łabędzkiego [2006], na podstawie rozkładu częstości występowania wartości CDI .

Wskaźnik CDI obliczany był w okresach dekad kalendarzowych dla wybranych upraw polowych (pszenica ozima, jęczmień jary, ziemniak późny, burak cukrowy, rzepak ozimy, kukurydza na zielonkę) na czterech kategoriach ciężkości gleb ornych (bardzo lekkie, lekkie, średnie, ciężkie) oraz dla czterech siedlisk użytków zielonych (mokre, wilgotne, posuszne, suche). Ewapotranspirację rzeczywistą ET i potencjalną ET_p danej rośliny obliczono w okresach dekad kalendarzowych jako sumę ewapotranspiracji w okresach dobowych.

Ewapotranspirację rzeczywistą ET^t w dobie t obliczono z równania:

$$ET^t = k_s^t \cdot k_c^t \cdot ET^t_0 \quad (2)$$

gdzie: ET^t_0 – ewapotranspiracja wskaźnikowa wg Penmana-Monteitha w okresie doby t (mm),

k_c^t – współczynnik roślinny w dobie t zależny od fazy rozwojowej rośliny i wielkości plonu, przyjęty za Łabędzkim (2006), Łabędzkim i in. (2008) oraz Ostrowskim i Łabędzkim (2008),

k_s^t – współczynnik glebowo-wodny w dobie t , obliczany jako stosunek zapasu wody użytecznej w glebie na początku doby ZWU^t_p (mm) do zapasu wody trudno dostępnej $ZWTD$ (mm):

Tabela 1. Klasyfikacja deficytu wody i suszy rolniczej na podstawie wskaźnika CDI
Table 1. Classification of water deficit and agricultural drought according to the index CDI

Wartość <i>CDI</i>	Kategoria deficytu wody	Klasa suszy rolniczej
[0,00; 0,10)	brak deficytu	brak suszy
[0,10; 0,20)	deficyt umiarkowany	susza umiarkowana
[0,20; 0,50)	deficyt duży	susza silna
[0,50; 1,00]	deficyt bardzo duży	susza ekstremalna

$$k_s^t = \frac{ZWU_p^t}{ZWTD} \text{ gdy } ZWU_p^t < ZWTD \quad (3)$$

$$k_s^t = 1 \text{ gdy } ZWU_p^t \geq ZWTD \quad (4)$$

W drugim przypadku (równanie (4)) występują warunki dostatecznego zaopatrzenia w wodę oraz

$$ET^t = k_c^t ET_o^t = ET_p^t \quad (5)$$

gdzie: ET_p^t – ewapotranspiracja potencjalna w okresie doby t (mm).

Do wyznaczenia aktualnego zapasu wody w glebie zastosowano równanie bilansu wodnego gleby z krokiem czasowym jednej doby. Zapas wody użytecznej w korzeniowej warstwie gleby ZWU_k^t jest obliczany z równania:

$$ZWU_k^t = ZWU_p^t + P^t + q^t - ET^t = ZWU_p^{t+1} \quad (6)$$

gdzie: ZWU_k^t , ZWU_p^t – zapas wody użytecznej w warstwie korzeniowej na końcu i na początku doby t (mm),

P^t – opad w dobie t (mm),

q^t – dopływ wody gruntowej do warstwy korzeniowej w dobie t (mm),

ET^t – ewapotranspiracja rzeczywista w dobie t (mm),

ZWU_p^{t+1} – zapas wody użytecznej w warstwie korzeniowej na początku doby $t+1$ (mm).

Zapasy wody trudnodostępnej $ZWTD$ liczone według wzoru:

$$ZWTD = (1 - p) \cdot ZWU \quad (7)$$

gdzie: p – współczynnik dostępności wody glebowej, przyjęty za Allenem i in. [1998],

ZWU – zapas wody użytecznej (mm) liczone według wzoru:

$$ZWU = ZW_{pF2,2} - ZW_{pF4,2} \quad (8)$$

gdzie: $ZW_{pF2,2}$ – zapas wody przy pF 2,2,

$ZW_{pF4,2}$ – zapas wody przy pF 4,2.

Ewapotranspirację wskaźnikową obliczono metodą Penmana-Monteitha, w której stosuje się wzór [Allen i in. 1998; Łabędzki i in. 2011, 2014]:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta R_n + \gamma \frac{900}{T + 273} u(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u)} \quad (9)$$

gdzie: ET_o – ewapotranspiracja wskaźnikowa ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$),

R_n – promieniowanie netto ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$),

T – temperatura powietrza ($^{\circ}\text{C}$),

u – prędkość wiatru na wys. 2 m ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),

Δ – nachylenie krzywej ciśnienia nasyconej pary wodnej ($\text{kPa} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$),

γ – stała psychrometryczna ($\text{kPa} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$),

e_a – ciśnienie pary wodnej (kPa),

e_s – ciśnienie pary wodnej nasyconej (kPa).

Rzeczywiste i prognozowane wartości CDI obliczono w miesiącach kwiecień-wrzesień w latach 2013–2014, wykorzystując dane meteorologiczne ze stacji Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Prognozy CDI były tworzone dla 10- i 20-dniowych prognoz opadów i elementów meteorologicznych wykorzystywanych do obliczenia ewapotranspiracji wskaźnikowej, na podstawie 14-dniowych prognoz wartości dobowych pozyskiwanych z serwisu internetowego AgroPogoda przygotowywanego przez Meteogroup Polska [Agropogoda 2013]. Serwis ten stosuje własny system prognozowania Multi-Model MOS (Model Output Statistics), u podstaw którego leżą obliczenia meteorologicznych modeli numerycznych z najbardziej uznanych centrów prognozowania meteorologicznego [Meteogroup 2013]. Otrzymane z Meteogroup 14-dniowe prognozy były wydłużane do 20 dni w oparciu o działający w ITP Bydgoszcz algorytm długoterminowej prognozy elementów meteorologicznych.

Przyjęto następujące kryterium sprawdzalności prognoz – zgodności rzeczywistych i prognozowanych klas intensywności deficytów wody:

$$| CDI - CDI_{\text{prog}} | \leq 0,1.$$

Sprawdzalność obliczono jako stosunek liczby okresów, w których spełnione zostały powyższe kryteria do liczby wszystkich okresów i wyrażono w procentach.

WYNIKI

Spośród wszystkich analizowanych roślin największą sprawdzalność 10- i 20-dniowej prognozy intensywności suszy rolniczej odnotowano w przypadku rzepaku ozimego (100% na każdej glebie), najmniejszą zaś przy ziemniaku późnym (średnio 76%, od 65 do 81% w zależności od ciężkości gleby). Sprawdzalność prognoz dla trwałych użytków zielonych wyniosła 96% (tab. 2).

Biorąc pod uwagę kategorię gleby, sprawdzalność prognoz CDI na wszystkich uprawach polowych (6 roślin) wzrasta wraz z jej ciężkością, od bardzo lekkiej (79% sprawdzalności) do ciężkiej (94% sprawdzalności), od 87 do 97% przy prognozach 10-dniowych i od 72 do 91% przy 20-dniowych. Największa sprawdzalność zgodności klas CDI niezależnie od kategorii roślin była na glebie średniej i ciężkiej (93%), najmniejsza zaś na glebie bardzo lekkiej (78%). Sprawdzalność prognoz na podstawie warunku $|CDI - CDI_{prog}| \leq 0,1$ była podobna, największa na glebie ciężkiej (96%), najmniejsza na bardzo lekkiej (80%).

Na trwałych użytkach zielonych sprawdzalność prognoz suszy rolniczej wzrastała z kolei wraz z uwilgotnieniem siedlisk, średnio od 82% w siedlisku suchym do 100% w siedlisku mokrym. Weryfikowalność 10-dniowej prognozy CDI na trwałych użytkach zielonych wyniosła od 85% w siedlisku suchym do 100% w mokrym, natomiast sprawdzalność prognoz 20-dniowych była mniejsza, od 80% w siedlisku suchym do 100% w mokrym.

W przypadku kilku roślin sprawdzalność prognoz wyniosła 100%. Rzepak ozimy był jedyną z analizowanych roślin, w odniesieniu do której taka sprawdzalność miała miejsce na wszystkich glebach. Maksymalna sprawdzalność prognoz (100%) wystąpiła na pszenicy ozimej na glebie lekkiej, średniej i ciężkiej, jęczmieniu jarym i kukurydzy na zielonkę na glebie średniej i ciężkiej, a na trwałych użytkach zielonych w siedlisku mokrym, wilgotnym i posuszonym.

Średnia sprawdzalność prognoz CDI według kryterium $|CDI - CDI_{prog}| \leq 0,1$ dla sześciu upraw polowych (pszenica ozima, jęczmień jary, ziemniak późny, burak cukrowy, rzepak ozimy, kukurydza na zielonkę) na czterech kategoriach gleb oraz dla czterech siedlisk trwałych użytków zielonych w latach 2013–2014 wyniosła średnio 91% (90% dla upraw polowych i 95% dla użytków zielonych) (tab. 3). Sprawdzalność prognozy 10-dniowej we-

dług tego kryterium wyniosła 96%, a 20-dniowej – 87%. W przypadku upraw polowych większą sprawdzalność zanotowano w odniesieniu do prognozy 10-dniowej (96%) niż do prognozy 20-dniowej (85%). Weryfikacja prognozy 10 i 20-dniowej dla trwałych użytków zielonych była zbliżona i wyniosła odpowiednio 96% i 95%.

Sprawdzalność według kryterium zgodności klas wyniosła średnio 89% (88% – uprawy polowe, 96% – użytki zielone); dla prognozy 10-dniowej wyniosła 92%, a dla prognozy 20-dniowej – 86%. Spośród wszystkich analizowanych roślin największą średnią sprawdzalność 10- i 20-dniowej prognozy odnotowano w przypadku rzepaku ozimego (100%), najmniejszą zaś przy ziemniaku późnym (74%).

Sprawdzalność prognoz CDI według kryterium $|CDI - CDI_{prog}| \leq 0,1$ była większą niż dla kryterium zgodność rzeczywistych i prognozowanych klas intensywności deficytów wody. Dla obu przyjętych kryteriów większa sprawdzalność prognoz wystąpiła przy prognozie 10-dniowej.

WNIOSKI

1. Przeprowadzona analiza wykazała dużą sprawdzalność (94%) 10-dniowych prognoz niedoboru wody dla roślin uprawnych i trwałych użytków zielonych, którego miarą jest wskaźnik suszy rolniczej CDI. Prognozy 20-dniowe miały mniejszą sprawdzalność (86%), co było spowodowane mniejszą sprawdzalnością prognoz opadów.
2. Prognozy wartości wskaźnika CDI oraz prognozy klas niedoborów wody charakteryzowały się również dużą sprawdzalnością (odpowiednio 91% i 89%).
3. Przewidywania wielkości niedoborów wody dla roślin uprawnych i trwałych użytków zielonych na najbliższe 10-20 dni można uznać jako wiarygodne i można je rekomendować, np. w planowaniu gospodarowaniem wody w rolnictwie i w prowadzeniu nawodnień.

Podziękowania

Wymieniony w artykule system monitoringu jest elementem działania 1.2 pt. „Monitoring, prognoza przebiegu i skutków oraz ocena ryzyka wystąpienia deficytu i nadmiaru wody na obszarach wiejskich”, realizowanego przez Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w ramach Programu

Tabela 2. Sprawdzalność prognoz (%) niedoboru wody według wskaźnika CDI w latach 2013–2014**Table 2.** Verification of forecasts (%) of water deficit according to CDI in 2013–2014

Roślina	Zgodność klas		$ CDI - CDI_{prog} \leq 0,1$	
	prognozy 10-dniowe	prognozy 20-dniowe	prognozy 10-dniowe	prognozy 20-dniowe
Gleba bardzo lekka				
Pszenica ozima	95	90	95	95
Jęczmień jary	83	73	92	73
Ziemniak późny	71	50	85	53
Burak cukrowy	84	58	87	53
Rzepak ozimy	100	100	100	100
Kukurydza na zielonkę	71	54	75	58
Gleba lekka				
Pszenica ozima	100	100	100	100
Jęczmień jary	92	91	96	95
Ziemniak późny	85	69	94	66
Burak cukrowy	87	69	92	69
Rzepak ozimy	100	100	100	100
Kukurydza na zielonkę	93	77	93	85
Gleba średnia				
Pszenica ozima	100	100	100	100
Jęczmień jary	100	100	100	100
Ziemniak późny	79	78	94	72
Burak cukrowy	84	69	95	78
Rzepak ozimy	100	100	100	100
Kukurydza na zielonkę	100	100	100	100
Gleba ciężka				
Pszenica ozima	100	100	100	100
Jęczmień jary	100	100	100	100
Ziemniak późny	88	69	97	72
Burak cukrowy	87	75	97	81
Rzepak ozimy	100	100	100	100
Kukurydza na zielonkę	100	100	100	100
Trwałe użytki zielone				
Siedlisko mokre	100	100	100	100
Siedlisko wilgotne	100	100	100	100
Siedlisko posuszne	100	100	100	100
Siedlisko suche	85	81	85	78

Tabela 3. Sprawdzalność prognoz (%) niedoboru wody według wskaźnika CDI w latach 2013–2014, średnia dla gleb i siedlisk**Table 3.** Verification of forecasts (%) of water deficit according to CDI in 2013–2014, averaged over soils and habitats

Roślina	Zgodność klas		$ CDI - CDI_{prog} \leq 0,1$	
	prognozy 10-dniowe	prognozy 20-dniowe	prognozy 10-dniowe	prognozy 20-dniowe
Pszenica ozima	99	98	99	99
Jęczmień jary	94	91	97	92
Ziemniak późny	81	66	93	66
Burak cukrowy	86	68	93	70
Rzepak ozimy	100	100	100	100
Kukurydza na zielonkę	91	84	92	86
Trwałe użytki zielone	96	95	96	95

Wieloletniego na lata 2011–2015 pt. „Standaryzacja i monitoring przedsięwzięć środowiskowych, techniki rolniczej i rozwiązań infrastrukturalnych na rzecz bezpieczeństwa i zrównoważonego rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich”, finansowanego przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

LITERATURA

1. AgroPogoda (Serwis Meteogroup dla rolnictwa). 2013. <http://www.agropogoda.meteogroup.pl> [dostęp 01.03.2013]
2. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. No. 56, pp. 300.
3. Bąk B. 2006. Wskaźnik standaryzowanego opadu SPI jako kryterium oceny suszy rolniczej na glebach o różnej retencji użytecznej. Falenty: IMUZ pr. dokt. maszyn. ss. 160.
4. Brunini O., Dias Da Silva P.L., Grimm A.M., Assad Delgado E., Boken V.K. 2005. Agricultural drought phenomena in Latin America with focus on Brazil. W: Monitoring and predicting agricultural drought. V.K. Boken, A.P. Cracknell, R.L. Heathcote (Eds.). Oxford: Univ. Press, 156–168.
5. Forecast verification: a practitioner's guide in atmospheric science. 2012. Eds. I.T. Jolliffe, D. B. Stephenson. John Wiley & Sons, Ltd., pp. 274.
6. Livezey R. E. 2012. Deterministic forecasts of multi-category events. In: Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science. I.T. Jolliffe, D.B. Stephenson (Eds.). John Wiley & Sons, Ltd., 61–75.
7. Łabędzki L. 2006. Susze rolnicze – zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. Rozprawy Naukowe i Monografie, 17, ss. 107.
8. Łabędzki L., Bąk B. 2011. Prognozowanie suszy meteorologicznej i rolniczej w systemie monitorowania suszy na Kujawach i w dolinie górnej Noteci. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 5, 19–28.
9. Bąk B., Łabędzki L. 2015. Weryfikacja 10- i 20-dniowej prognozy wskaźnika standaryzowanego opadu SPI. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, II(1), 171–182. DOI: <http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2015.2.1.014>.
10. Łabędzki L., Bąk B., Kanecka-Geszke E., Kasperska-Wołowicz W., Smarzyńska K. 2008. Związek między suszą meteorologiczną i rolniczą w różnych regionach agroklimatycznych Polski. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. Rozprawy Naukowe i Monografie nr 25, ss. 137.
11. Łabędzki L., Bąk B., Smarzyńska K. 2014. Spatio-temporal variability and trends of Penman-Monteith reference evapotranspiration (FAO-56) in 1971–2010 under climatic conditions of Poland. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 23. No. 6, 2083–2091. DOI: 10.15244/pjoes/27816.
12. Łabędzki L., Kanecka-Geszke E., Bąk B., Słowińska S. 2011. Estimating reference evapotranspiration using the FAO Penman-Monteith method for climatic conditions of Poland. W: L. Łabędzki (Ed.). Evapotranspiration. Wyd. InTech, Rijeka, 275–294.
13. Melonek M. 2011. Porównanie wyników weryfikacji modeli numerycznych prognoz pogody działających operacyjnie w ICM. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 6, 2–42.
14. Meteogroup. 2013. Multi-model approach. <http://www.meteogroup.com/pl/gb/research/multi-model-approach.html> [dostęp 20.04.2013]
15. Ostrowski J., Łabędzki L., Kowalik W., Kanecka-Geszke E., Kasperska-Wołowicz W., Smarzyńska K., Tusiński E. 2008. Atlas niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce. Falenty: Wydaw IMUZ, ss. 19 + 32 mapy.
16. Ozga-Zielińska M., Nawalny M. 1999. Zagadnienia identyfikacji i weryfikacji integralnego modelu zlewni. Biblioteczka Wiadomości IMUZ, 61, 43–54.
17. Treder W., Wójcik K., Tryngiel-Gać A., Klamkowski K. 2011. Ocena jakości prognozowania pogody. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 6, 43–58.
18. WMO (World Meteorological Organization). 2008. Recommendations for the Verification and Intercomparison of QPFs and PQPFs from Operational NWP Models. Atmospheric Research and Environment Branch, 7–23.