



MONITORING I PROGNOZOWANIE PRZEBIEGU I SKUTKÓW DEFICYTU WODY NA OBSZARACH WIEJSKICH

Leszek Łabędzki, Bogdan Bąk

Institut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach

MONITORING AND FORECASTING THE COURSE AND IMPACT OF WATER DEFICIT IN RURAL AREAS

Streszczenie

Institut Technologiczno-Przyrodniczy od 2012 r. prowadzi ogólnokrajowy monitoring agrometeorologiczny na obszarach wiejskich. System dostarcza bieżące i prognozowane informacje dotyczące stanu i skutków niedoborów wody w wybranych, reprezentatywnych ekosystemach rolniczych, a także przedstawia ocenę potencjalnej redukcji plonu upraw rolniczych. Niezbędne dane meteorologiczne zapewnia sieć automatycznych stacji pomiarowych rozmieszczonych w 13 regionach na terenie Polski. Prognozy meteorologiczne, niezbędne do opracowania przewidywanych zmian niedoborów wody w kolejnych 10 i 20 dniach, pochodzą z serwisu meteorologicznego MeteoGroup Polska.

Monitorowanie deficytów wody oraz ich skutków odbywa się metodą wskaźnikową. Warunki opadowe są monitorowane za pomocą wskaźnika standaryzowanego opadu SPI, uwilgotnienie gleby - wskaźnika uwilgotnienia gleby SMI, deficyt wody dla roślin uprawnych - wskaźnika suszy rolniczej CDI i potencjalna redukcja plonu końcowego - wskaźnika redukcji plonu YR. Wyniki monitoringu oraz prognozy są prezentowane w Internecie w postaci tabel i map.

Słowa kluczowe: monitoring agrometeorologiczny, niedobory wody, susza meteorologiczna, susza rolnicza, redukcja plonu

Summary

Since 2012 Institute of Technology and Life Sciences has lead a national agro-meteorological monitoring in rural areas. The system provides current and forecasted information on the status and impact of water shortages in selected, representative of agricultural ecosystems and estimates potential reduction of crop yield. Required meteorological data are provided by a network of automatic stations located in 13 regions on Polish territory. Weather forecasts, necessary to develop predictions of water shortages in the next 10 and 20 days, come from the meteorological service of MeteoGroup Poland.

Monitoring of water deficits and their consequences is carried out on using an indicator method. Precipitation conditions are monitored using standardized precipitation index SPI, soil moisture - soil moisture index SMI, the deficit of water for crops - agricultural drought index CDI and the potential reduction of final yield - yield reduction ratio YR. Results of the monitoring and forecasts are presented as tables and maps in the Internet.

Key words: agrometeorological monitoring, water deficit, meteorological drought, agricultural drought, yield reduction

WSTĘP

Według Mioduszewskiego i in. [2011], rolnictwo jest specyficznym konsumentem wody, co wynika z:

- bazowania produkcji roślinnej głównie na wodach opadowych, retencionowanych w porach gleby lub w płytkich warstwach wodonośnych,
- największego poboru wody w półroczu letnim, przewyższającego występujące w tym czasie opady atmosferyczne,
- zajmowania na potrzeby produkcji rolniczej 60% powierzchni kraju i zużywania do wyprodukowania żywności ponad 40% sumarycznych rocznych opadów atmosferycznych,
- występowania okresów nadmiernego uwilgotnienia i niedoborów wody z powodu dużej zmienności warunków meteorologicznych.

Coraz częściej zdarzające się ekstremalne warunki meteorologiczne i hydrologiczne oraz prognozowane globalne zmiany klimatyczne wskazują na potrzebę monitorowania warunków hydro-meteorologicznych na obszarach rolniczych. Ze względu na poważne ekonomiczne, społeczne i środowiskowe skutki deficytów wody, niezwykle istotne jest z jednej strony ich łagodzenie, ograniczanie ich ujemnych skutków w rolnictwie i zwiększanie możliwości adaptacyjnych rolnictwa, a z drugiej – monitorowanie i prognozowanie ich przebiegu.

Przestrzenny i czasowy rozkład deficytów wody zależy nie tylko od warunków meteorologicznych, ale także od zmienności warunków glebowo-wodnych oraz charakteru i poziomu produkcji rolniczej na danym obszarze. Brak kompleksowej osłony agrometeorologicznej rolnictwa w skali kraju, spowodował uruchomienie regionalnych systemów monitorowania warunków

agrometeorologicznych. W ostatnich latach zostały utworzone w różnych ośrodkach naukowych systemy takiego monitoringu, których wyniki są prezentowane w Internecie. Do najważniejszych serwisów należą:

– Ogólnopolski monitoring suszy rolniczej w Polsce jest prowadzony przez Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach. W serwisie internetowym IUNG prezentowane są mapy zagrożenia suszą rolniczą w okresach 6-dekadowych od kwietnia do września. Kryterium identyfikacyjne suszy stanowią krytyczne wartości klimatycznego bilansu wodnego, powodujące obniżeniu plonów o 15% w stosunku do wartości średnich z wielolecia [Doroszewski i in. 2008, SMSR 2012],

– Wielkopolski Internetowy Serwis Informacji Agrometeorologicznej (WISIA), prowadzony jest przez Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu [AGROMETEO 2012, Leśny i in. 2004]. Celem serwisu jest dostarczanie informacji i prognoz agrometeorologicznych, które tworzą system rolniczego wspomaganie decyzji służących organizowaniu codziennej pracy w gospodarstwie rolnym na obszarze Wielkopolski i przyległych województw.

– Monitoring suszy na obszarach rolniczych, prowadzony w dolinie górnej Noteci, dolnej Wisły i na Kujawach (w rejonach szczególnie zagrożonych suszą). System został uruchomiony w 2008 r. w Instytucie Melioracji i Użytków Zielonych (obecnie Instytut Technologiczno-Przyrodniczy) i działa do chwili obecnej [Bąk, Łabędzki 2009, Kasperska-Wołowicz, Łabędzki 2006, Łabędzki 2006, Łabędzki, Bąk 2010].

– Progностyczno-operacyjny system udostępniania charakterystyk suszy „POSUCH@” prowadzony przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej [IMGW 2013]. Bazę serwisu stanowi system oceny i prognozy rozwoju suszy oraz opisu susz historycznych.

W artykule przedstawiono koncepcję systemu ogólnokrajowego monitoringu agrometeorologicznego, utworzonego w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym w 2012 r. Jego celem jest monitorowanie, prognoza przebiegu i skutków przestrzennego zróżnicowania deficytów wody i intensywności suszy rolniczej. Powyższe działania są prowadzone dla wybranych roślin uprawnych w różnych środowiskach glebowo-wodnych, w wybranych reprezentatywnych ekosystemach rolniczych i zlewniach cieków wiejskich, w oparciu o sieć monitoringu agrometeorologicznego. Monitoring prowadzony jest w zróżnicowanych regionach agroklimatycznych, ze szczególnym uwzględnieniem regionów o niekorzystnych warunkach hydrometeorologicznych. Jego wyniki są reprezentatywne dla obszaru kraju o powierzchni ok. 200 tys. km².

OPIS SYSTEMU MONITORINGU

System pomiarowo-informatyczny monitoringu warunków agrometeorologicznych w ekosystemach rolniczych składa się z bazy danych, modułu mode-

lowania (który zawiera algorytmy i procedury symulacji warunków wodnych oraz obliczania wskaźników) oraz modułu prezentacji wyników. Istotnym elementem systemu jest baza danych, zawierająca dane meteorologiczne: historyczne, bieżące i prognostyczne oraz stałe dane glebowo-rolnicze. Dane te służą do obliczania wskaźników opisujących stan rzeczywisty oraz prognozę warunków deficytów wody oraz ich skutku w postaci potencjalnej redukcji plonu końcowego. Formą prezentacji wyników monitoringu jest strona internetowa.

Na podstawie analizy zróżnicowania klimatycznego Polski i warunków agroklimatycznych na obszarze kraju, wydzielono dla celów monitoringu 13 regionów (tab. 1, rys. 1) [Woś 1999]. Granice regionów pokrywają się z granicami powiatów. Całkowita powierzchnia powiatów leżących w granicach tych regionów wynosi 204615 km². W każdym z tych regionów znajduje się automatyczna stacja meteorologiczna, z których pozyskiwane dane pomiarowe są transmitowane za pomocą GPRS do Ośrodka ITP w Bydgoszczy.

Tabela 1. Lokalizacja automatycznych stacji meteorologicznych
Table 1. Location of automatic meteorological stations

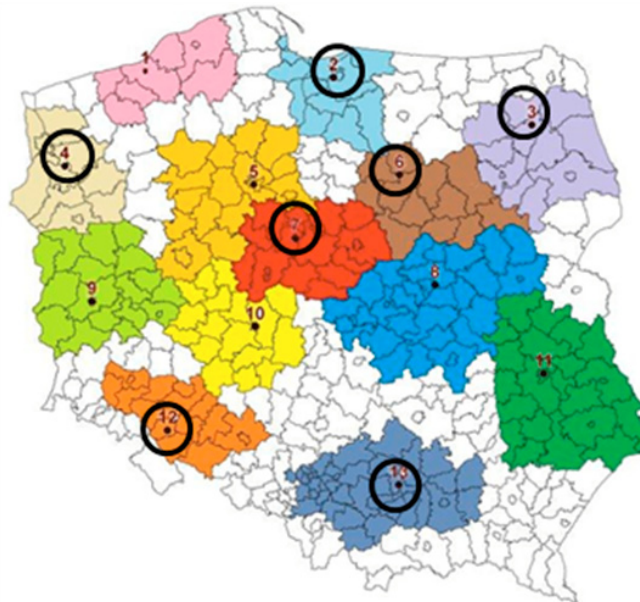
Nr No.	Stacja Station	Wysokość (m n.p.m.) (amsl*)	Szerokość geograficzna Latitude	Długość geograficzna Longitude	Region klimatyczny wg Wośa [1999] Climatic region according to Woś [1999]
1	Koszalin	32	54°12'	16°09'	VII Środkowopomorski
2	Elbląg	-3	54°10'	19°19'	IV Dolnej Wisły
3	Biebrza	103	53°39'	22°34'	XII Mazursko-Podlaski
4	Pyrzyce-Reńsko	23	53°14'	14°57'	VI Zachodniopomorski
5	Bydgoszcz	66	53°06'	18°01'	IX Chełmińsko-Toruński XV Środkowowielkopolski
6	Mława - Białuty	168	53°12'	20°23'	X Zachodniomazurski XI Środkowomazurski
7	Osięciny-Samszyce	93	53°36'	18°42'	XVII Środkowopolski
8	Falenty	107	52°08'	20°55'	XVIII Środkowomazowiecki
9	Zielona Góra	182	51°56'	15°30'	XIV Lubuski
10	Kalisz	140	51°44'	18°05'	XVI Południowowielkopolski
11	Lublin	171	51°14'	22°34'	XIX Podlasko-Poleski XXI Wschodniomazowiecki XXVIII Zamojsko-Przemyski
12	Niemcza-Gilów	273	50°43'	16°45'	XXIV Dolnośląski Środkowy
13	Proszowice-Opatkowice	210	50°12'	20°17'	XXVI Śląsko-Krakowski

*amsl – above mean sea level

Źródło: opracowanie własne

W 7 regionach wybrano reprezentatywne zlewnie rolnicze, w których prowadzone są okresowe pomiary wilgotności gleby w wybranych uprawach i w siedliskach użytków zielonych (rys. 1):

- 1) zlewnia rzeki Gowienicy, region północno-zachodni, wschodnia część jeziora Miedwie, stacja nr 4,
- 2) polder Fiszewka „S”, region północny – Żuławy, stacja nr 2,
- 3) obiekt Kuwasy, region północno-wschodni – zlewnia Biebrzy, stacja nr 3,
- 4) zlewnia rzeki Zgłowiączki, region centralny – Kujawy, stacja nr 7,
- 5) zlewnia rzeki Mławki, region centralny – Mazowsze, stacja nr 6,
- 6) zlewnia Ślezy, region południowo-zachodni - Przedgórze Sudeckie, stacja nr 12,
- 7) zlewnia rzeki Szreniawy, region południowy - Wyżyna Olkuska, stacja nr 13.



Rysunek 1. Lokalizacja automatycznych stacji meteorologicznych; ● - zlewnie rolnicze
Figure 1. Location of automatic meteorological stations; ● - agricultural catchments

Źródło: opracowanie własne

Monitorowanie deficytów wody oraz ich skutków odbywa się metodą wskaźnikową. Warunki opadowe są monitorowane za pomocą wskaźnika standaryzowanego opadu SPI, uwilgotnienie gleby - wskaźnika uwilgotnienia gleby SMI, deficyt wody dla roślin uprawnych - wskaźnika suszy rolniczej CDI i potencjalna redukcja plonu końcowego - wskaźnika redukcji plonu YR. Ocena

tych warunków dokonuje się na podstawie wybranych wskaźników i ich wartości liczbowych. Jest to etap kwantyfikacji oceny. Następnie, stosując uzasadnioną klasyfikację wartości tych wskaźników i kryteria, dokonuje się werbalnej oceny uwarunkowań według przyjętej klasyfikacji.

Wskaźniki wyznaczane są w okresie kwiecień-październik co dekadę, za okres poprzedzających 10/11 dni. Tworzona jest prognoza tych wskaźników średnioterminowa (10 dni naprzód) i długoterminowa (20 dni naprzód) na podstawie prognozy meteorologicznej, pozyskiwanej z MeteoGroup Polska [MeteoGroup 2012]. MeteoGroup Polska stosuje własny system prognozowania Multi-Model MOS (Model Output Statistics), u podstaw którego leżą obliczenia meteorologicznych modeli numerycznych z najbardziej uznanych światowych ośrodków.

Wskaźnik SPI obliczany jest dla 35 stacji meteorologicznych położonych na obszarze całego kraju. Parametry potrzebne do określania pozostałych wskaźników są pozyskiwane z użyciem modelowania matematycznego. Zastosowano model CROPBALANCE, będącym autorskim modelem opracowanym w ITP, który symuluje bilans wodny gleby z krokiem czasowym 1 doby [Łabędzki 2006].

Wskaźniki SMI, CDI i YR są obliczane dla następujących upraw rolniczych: pszenica ozima, jęczmień jary, ziemniak późny, burak cukrowy, rzepak ozimy i kukurydza, na glebach bardzo lekkich, lekkich, średnich i ciężkich [Gleboznawstwo 1995], oraz trwałych użytków zielonych w siedlisku mokrym, wilgotnym, posuszny i suchym (tab. 2).

Wyniki monitoringu są prezentowane na stronie internetowej www.agrometeo.itep.pl.

Tabela 2. Monitorowane rośliny i kategorie gleb
Table 2. Monitored plants and soil categories

Roślina/ Siedlisko TUZ Plant/ Permanent grassland	Kategoria gleb/ Soil category			
	bardzo lekkie very light	lekkie light	średnie moderate	ciężkie heavy
Pszenica ozima	x	x	x	x
Jęczmień jary	x	x	x	x
Ziemniak późny	x	x	x	x
Burak cukrowy	-	x	x	x
Rzepak ozimy	-	x	x	x
Kukurydza na zielonkę	-	x	x	x
Siedlisko TUZ	mokre A/ wet A	wilgotne B/ moisture B	posuszne C/ periodically dry	suche D/ dry D

- na oznaczonej kategorii gleby uprawa nie jest wskazana;
for designated soil category cultivation is not recommended

TUZ – trwale użytki zielone;
permanent grassland

Źródło: opracowanie własne

WARUNKI OPADOWE

Warunki opadowe są oceniane przy użyciu wskaźnika standaryzowanego opadu SPI. Jest to wskaźnik deficytu i nadmiaru opadów, pokazujący standaryzowane odchylenie opadu w danym okresie od mediany opadu SPI [Bąk, Łabędzki 2002, Łabędzki 2006, 2007, Łabędzki in. 2008, McKee i in. 1993, 1995, National Drought Mitigation Centre 2012]. Wskaźnik SPI obliczany jest z wykorzystaniem historycznego ciągu opadów wg wzoru:

$$SPI = \frac{u - u_{sr}}{d_u} \quad (1)$$

gdzie:

- SPI – wskaźnik standaryzowanego opadu,
- u – znormalizowana wartość opadu zmierzonego,
- u_{sr} – średnia wartość znormalizowanego ciągu opadów,
- d_u – odchylenie standardowe znormalizowanego ciągu opadów.

Na podstawie wartości SPI dokonywana jest ocena niedoboru opadów (intensywności suszy meteorologicznej) i nadmiaru opadów:

- 1) co dekadę w przesuwanych o dekadę poprzedzających okresach 3-dekadowych,
- 2) co miesiąc w poprzedzających okresach 1-, 2-, 3-, 6-, 12-, 24-, 36- i 48-miesięcznych.

SPI dla okresu 1-6 miesięcy (SPI-3dek, SPI-1, SPI-2, SPI-3, SPI-6) służy do monitoringu krótkotrwałych lub sezonowych niedoborów lub nadmiarów opadów, SPI obliczany dla 12 miesięcy (SPI-12) – wielomiesięcznych (średnio-terminowych), SPI dla 24-48 miesięcy (SPI-24, SPI-36, SPI-48) – kilkuletnich (długoterminowych). SPI dla 2-3 miesięcy dobrze korelują z wilgotnością gleby, czyli mogą wskazywać na zagrożenie suszą glebową i rolniczą bądź nadmiernym uwilgotnieniem gleby, dla 6-12 miesięcy – z natężeniem przepływu w rzekach i wskazują na zagrożenie suszą hydrologiczną wód powierzchniowych, a dla 24-48 miesięcy – z poziomami wody gruntowej i są odpowiednie do detekcji susz wywołujących długookresowe skutki (np. suszę wód gruntowych).

Klasyfikację warunków opadowych dokonuje się według 9-stopniowej skali (tab. 3).

Tabela 3. Klasyfikacja warunków opadowych na podstawie wskaźnika SPI
Table 3. Classification of precipitation conditions according to SPI index

Wartość SPI Value of SPI	Kategoria warunków opadowych Classification of precipitation conditions
$\leq -2,00$	susza ekstremalna
$(-2,00; -1,50]$	susza silna
$(-1,50; -1,00]$	susza umiarkowana
$(-1,00; -0,50]$	susza słaba
$(-0,50; 0,50)$	warunki przeciętne
$[0,50; 1,00)$	wilgotno
$[1,00; 1,50)$	umiarkowanie mokro
$[1,50; 2,00)$	bardzo mokro
$\geq 2,00$	ekstremalnie mokro

Źródło: opracowanie własne na podstawie McKee i in. [1993]

WARUNKI UWILGOTNIENIA GLEBY

Ocena warunków uwilgotnienia gleby dokonywana jest na podstawie wartości wskaźnika uwilgotnienia gleby SMI (Soil Moisture Index) [Hunt i in. 2008], obliczanego na koniec dekady wg wzoru:

$$SMI = -5 + 10 \frac{ZWU_a}{ZWU} \quad (2)$$

gdzie:

- ZWU_a – aktualny zapas wody użytecznej w warstwie korzeniowej,
- ZWU – zapas wody użytecznej w warstwie korzeniowej.

Tak zdefiniowany wskaźnik umożliwia porównanie warunków uwilgotnienia w glebach o różnych zdolnościach retencyjnych i obiektywną ocenę intensywności suszy glebowej oraz stanów nadmiernego uwilgotnienia. Klasyfikację uwilgotnienia gleby dokonuje się według 4-stopniowej skali (tab. 4).

Tabela 4. Klasyfikacja uwilgotnienia gleby na podstawie wskaźnika SMI
Table 4. Classification of soil moisture according to SMI index

Wartość SMI Value of SMI	Kategoria uwilgotnienia gleby Category of soil moisture
$\geq 5,00$	nadmierne uwilgotnienie
$[0,00; 5,00)$	optymalne uwilgotnienie
$[-2,00; 0,00)$	susza glebowa umiarkowana
$[-5,00; -2,00)$	susza glebowa silna

Źródło: opracowanie własne

DEFICYT WODY DLA ROŚLIN UPRAWNYCH

Ocena wielkości deficytu wody dla roślin uprawnych i intensywności suszy rolniczej dokonywana jest na podstawie wskaźnika CDI (Crop Drought Index) [Bąk 2006, Brunini i in. 2005, Łabędzki 2006]. Wskaźnik CDI pokazuje redukcję ewapotranspiracji, spowodowanej niedoborem wody w glebie, w stosunku do ewapotranspiracji potencjalnej i obliczany jest wg wzoru:

$$CDI = 1 - \frac{ET}{ET_p} \quad (3)$$

gdzie:

- ET – ewapotranspiracja rzeczywista w warunkach niedoboru wody w glebie,
- ET_p – ewapotranspiracja potencjalna w warunkach dostatecznego uwilgotnienia gleby.

Wskaźnik CDI przyjmuje wartości:

CDI = 0 gdy ET = ET_p

CDI < 1 gdy ET < ET_p

CDI = 1 gdy ET = 0

Klasyfikację deficytu wody dla roślin uprawnych i intensywności suszy rolniczej na podstawie wartości wskaźnika CDI dokonuje się według 4-stopniowej skali (tab. 5)

Tabela 5. Klasyfikacja deficytu wody na podstawie wskaźnika CDI

Table 5. Classification of water deficit according of index CDI

Wartość CDI Value of CDI	Kategoria deficytu wody Category of water deficit
[0,00; 0,10)	brak deficytu
[0,10; 0,20)	deficyt umiarkowany
[0,20; 0,50)	deficyt duży
[0,50; 1,00]	deficyt bardzo duży

Zródło: opracowanie własne

POTENCJALNA REDUKCJA PLONU KOŃCOWEGO

Prognozowana potencjalna redukcja plonu końcowego roślin uprawnych, spowodowana niedoborem wody i redukcją ewapotranspiracji, jest obliczana z użyciem metody Raes'a [Raes i in. 2006]. Wskaźnik YR (Yield Reduction) jest obliczany co dekadę wg wzoru:

$$YR = \left(1 - \frac{Y_{re}}{Y_p} \right) = 1 - \prod_{i=1}^N \left[\prod_{j=1}^M \left(1 - k_y \left(1 - \frac{ET}{ET_p} \right) \right)^{\frac{t_j}{L_i}} \right] \quad (4)$$

gdzie:

- Y_{re} – plon zredukowany w wyniku niedoboru wody glebowej,
- Y_p – plon potencjalny w warunkach dostatecznego uwilgotnienia gleby,
- k_y – współczynnik reakcji plonu na niedobór wody,
- ET – ewapotranspiracja rzeczywista,
- ET_p – ewapotranspiracja potencjalna w warunkach dostatecznego uwilgotnienia gleby,
- M – liczba okresów w fazie fenologicznej i ,
- t_j – długość okresu j w fazie i (dni),
- L_i – długość fazy i (dni),
- j – numer okresu w fazie i .

Klasyfikację potencjalnej redukcji plonu końcowego dokonuje się według 4-stopniowej skali (tab. 6).

Tabela 6. Potencjalna redukcja plonu YR
Table 6. Potential reduction of final yield according of index YR

YR (%)	Redukcja plonu Potential reduction of final yield
[0; 9)	mała
[10; 19)	umiarkowana
[20; 50)	duża
[50; 100]	bardzo duża

Źródło: opracowanie własne.

PODSUMOWANIE

Opracowany i wdrożony system monitoringu deficytu wody w obszarach rolniczych w wybranych w regionach Polski i prezentacja wyników monitoringu w internecie, ma na celu wskazywanie potencjalnego zagrożenia suszą rolniczą różnych upraw polowych i użytków zielonych. Informacje te, wsparte krótko-terminowymi i średnioterminowymi prognozami rozwoju suszy meteorologicznej i rolniczej, mogą wspomagać działania prowadzące do racjonalnego wykorzystania zasobów wody w rolnictwie i prowadzenia nawodnień, a także do oceny możliwych strat w plonach.

Monitorowanie warunków meteorologicznych z wykorzystaniem automatycznych stacji meteorologicznych i bezprzewodowej sieci do przesyłania da-

nych, pozwala na przyspieszenie procesu obliczania wskaźników deficytu wody w wybranych regionach i szybką aktualizację treści na stronach internetowych.

W porównaniu do innych podobnych systemów monitoringu, działających w Polsce, prezentowany system charakteryzuje się szerszym zakresem informacji, obejmującej warunki opadowe, warunki uwilgotnienia gleby, kwantyfikację suszy rolniczej i będącej jej efektem potencjalną redukcję plonów. Dostarcza również prognozę tych warunków i parametrów na okres najbliższych 10 i 20 dni.

System monitoringu jest elementem działania 1.2 „Monitoring, prognoza przebiegu i skutków oraz ocena ryzyka wystąpienia deficytu i nadmiaru wody na obszarach wiejskich”, realizowanego przez Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w ramach Programu Wieloletniego w latach 2011-2015 "Standaryzacja i monitoring przedsięwzięć środowiskowych, techniki rolniczej i rozwiązań infrastrukturalnych na rzecz bezpieczeństwa i zrównoważonego rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich".

BIBLIOGRAFIA

- AGROMETEO. *Wielkopolski Internetowy Serwis Informacji Agrometeorologicznej (WISIA)*. [online] www.agrometeo.pl. [dostęp: 20.11.2012].
- Bąk B. *Wskaźnik standaryzowanego opadu SPI jako kryterium oceny suszy rolniczej na glebach o różnej retencji użytecznej*. Wyd. IMUZ, Falenty 2006, pr. dokt. 160 ss.
- Bąk B., Łabędzki L. *Assessing drought severity with the relative precipitation index (RPI) and the standardized precipitation index (SPI)*. *Journal of Water Land Development*, 6, 2002, s. 89-105.
- Bąk B., Łabędzki L. *Monitoring suszy meteorologicznej i rolniczej na Kujawach i w dolinie górnej Noteci oraz jego prezentacja w Internecie*. *Wiad. Melior. i Łąk.*, 1, 2009, s. 13-16.
- Brunini O., Dias Da Silva P.L., Grimm A.M., Assad Delgado E., Boken V.K. *Agricultural drought phenomena in Latin America with focus on Brazil*. W: *Monitoring and predicting agricultural drought*. Red. V.K. Boken, A.P. Cracknell, R.L. Heathcote. Oxford University Press, 2005, s. 156-168.
- Doroszewski A., Kozyra J., Pudelko R., Stuczyński T., Jadczyński J., Koza P., Łopatka A. *Monitoring suszy rolniczej w Polsce*. *Wiad. Melior. i Łąk.*, 1, 2008, s. 35-38.
- Gleboznawstwo. Red. B. Dobrzański, S. Zawadzki, Warszawa: PWRiL. 1995, 562 ss.
- Hunt E.D., Hubbard K.D., Wilhite D.A., Arkebauer T.M., Dutcher A.L. *The development and evaluation of a soil moisture index*. *International Journal of Climatology*, 2008. Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/joc.1749.
- IMGW. Prognostyczno-operacyjny system udostępniania charakterystyk suszy „POSUCH@”. [online]. <http://posucha.imgw.pl> [dostęp: 20.01.2013].
- Kasperska-Wołowicz W., Łabędzki L. *Koncepcja systemu monitorowania suszy na obszarach rolniczych*. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*, 6, 1, 2006, s. 161-171.
- Leśny J., Juszcak R., Olejnik J. *Agrometeorologiczna osłona rolnictwa – tworzenie prognoz oraz ich możliwości aplikacyjne w praktyce rolniczej*. *Rocz. AR Poz. Melior. Inż. Środ.*, 25, 2004, s. 295-304.
- Łabędzki L. *Susze rolnicze - zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji*. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie. Rozpr. Nauk. Monogr.*, 17, 2006, 107 ss.

- Łabędzki L. *Estimation of local drought frequency in central Poland using the standardized precipitation index SPI*. Irrigation and Drainage. 56, 1, 2007, s. 67-77. DOI: 10.1002/ird.285.
- Łabędzki L., Bąk B. *Monitoring i prognozowanie suszy rolniczej na przykładzie regionalnego systemu monitorowania suszy na Kujawach*. W: Klimatyczne zagrożenia rolnictwa w Polsce. Red. C. Koźmiński, B. Michalska, J. Leśny. Wyd. Nauk. Uniw. Szczecin, 2010, s. 79-102.
- Łabędzki L., Bąk B., Kanecka-Geszke E., Kasperska-Wołowicz W., Smarzyńska K. *Związek między suszą meteorologiczną i rolniczą w różnych regionach agroklimatycznych Polski*. Woda Środowisko Obszary Wiejskie. Rozpr. Nauk. Monogr., 25, 2008, 137 ss.
- MeteoGroup. *Moja AgroPogoda*. [online] <http://agropogoda.meteogroup.pl/> [dostęp: 20.01.2012]
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J. *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. Proc. 8th Conf. Applied Climatology, 17-22 January 1993. Anaheim, California, 1993, s. 179-184.
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J. *Drought monitoring with multiple time scales*. Preprints 9th Conf. Applied Climatology, 15-20 January 1995. Dallas, Texas, 1995 s. 233-236.
- Mioduszewski W., Szymczak T., Kowalewski Z.. *Gospodarka wodna jako dyscyplina naukowa w służbie rolnictwa*. Woda Środowisko Obszary Wiejskie, 11, 1, 2011, s. 179-202.
- National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln (NDMC) [online]. <http://www.droughtmonitor.unl.edu/> [dostęp 20.02.2012].
- Raes D., Geerts S., Kipkorir E., Wellens J., Sahli A. *Simulation of yield decline as a result of water stress with a robust soil water balance model*. Agriculture Water Management, 81, 2006, s. 335-357.
- SMSR. *System Monitoringu Suszy Rolniczej w Polsce (SMSR)*. [online] www.susza.iung.pulawy.pl [dostęp 20.02.2012].
- Woś A. *Klimat Polski*. Wydaw. Nauk. PWN. Warszawa, 1999, 301 ss.

Prof. dr hab. inż. Leszek Łabędzki
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach
Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy w Bydgoszczy
ul. Glinki 60
85-174 Bydgoszcz
tel. 52 3750107
e-mail: l.labedzki@itp.edu.pl

Dr inż. Bogdan Bąk
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach
Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy w Bydgoszczy
ul. Glinki 60
85-174 Bydgoszcz
tel. 52 3750107
e-mail: bogbak@onet.pl; b.bak@itep.edu.pl