

ZALEŻNOŚĆ MIĘDZY SUSZĄ METEOROLOGICZNĄ A ROLNICZĄ  
W UPRAWIE BURAKA CUKROWEGO W OKRESIE WIOSENNYM  
NA GLEBACH O RÓŻNEJ RETENCJI UŻYTECZNEJ\*

*Bogdan Bąk<sup>1</sup>, Leszek Łabędzki<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Bydgoskie Biuro Pogody, ul. Bołtucia 10/20, 85-791 Bydgoszcz

e-mail: bogbak@poczta.onet.pl

<sup>2</sup>Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Wielkopolsko-Pomorski Ośrodek Badawczy w Bydgoszczy

ul. Glinki 60, 85-174 Bydgoszcz

**Streszczenie.** Celem badań była ocena zagrożenia suszą upraw buraka cukrowego w okresie wiosennym na Kujawach. W tym celu zbadano związki między suszą meteorologiczną i rolniczą na 4 glebach o różnej retencji użytecznej. Badania przeprowadzono w oparciu o dane pochodzące ze stacji IMUZ Bydgoszcz z lat 1954-2003. Suszę meteorologiczną kwantyfikował wskaźnik standaryzowanego opadu  $SPI$ , a suszę rolniczą wskaźnik  $CDI_w$ , określający wielkość redukcji ewapotranspiracji w stosunku do ewapotranspiracji średniej w wieloleciu. Siłę i istotność związków między suszami oceniono za pomocą analizy statystycznej (współczynniki korelacji liniowej i równania regresji liniowej). Do symulacji ewapotranspiracji i zmian zapasów wody użytecznej w glebie zastosowano metodę bilansu wodnego warstwy gleby, w której znajdują się korzenie. Obliczenia wykonano z zastosowaniem modelu matematycznego *CROPBALANCE*. W warunkach klimatycznych Kujaw wiosenne susze meteorologiczne średnio występują co drugi rok. Prawie równie często pojawiają się susze rolnicze, lecz ich liczba uzależniona jest od zdolności retencjonowania wody przez glebę (42-50%). Najczęściej pojawiają się one na najsłabszych glebach, a najrzadziej na glebach ciężkich.

**Słowa kluczowe:** susza meteorologiczna, susza rolnicza, burak cukrowy, ewapotranspiracja

#### WSTĘP

Liczne badania m.in. Wosia (1994, 2003), Bąka (2004), Łabędzkiego i Bąka (2004), Mrugały (2001), pokazują, że Kujawy należą do najsuchszych regionów w Polsce zarówno w okresie zimowym, jak i w letnim. Opady wiosenne na Kujawach charakteryzują się dużą wartością współczynnika zmienności opadów. Wegetacja roślin może zatem rozpoczynać się w warunkach bardzo suchych (zwykle ciepłych)

---

\* Praca wykonana w ramach projektu badawczego KBN nr 2P06S 038 27.

lub bardzo wilgotnych (przeważnie chłodnych). Utrzymywanie odpowiedniego poziomu wilgotności gleby w górnych warstwach gleby, zwłaszcza w warunkach często zmieniających się warunków meteorologicznych, jest warunkiem koniecznym do zakiełkowania maksymalnej ilości siewek i dalszego ich rozwoju w następnych dniach okresu wegetacji. Według Koźmińskiego (1986) 25-dniowe posuchy powodują spadek plonu buraków cukrowych o 5%, 30-dniowe – 10%, a 35-dniowe – 15%.

Najprostszą i jeszcze ciągle powszechnie stosowaną w praktyce metodą oceny suszy rolniczej na dowolnej uprawie jest ocena wzrokowa stanu uprawy. Bardziej wiarygodna jest ocena relacji pomiędzy suszą meteorologiczną i suszą rolniczą, za pomocą odpowiednich wskaźników, które kwantyfikują obie susze. Wśród bardzo wielu wskaźników suszy meteorologicznej, ostatnio często i szeroko stosowanym na świecie jest wskaźnik standaryzowanego opadu *SPI* (*Standardized Precipitation Index*) (McKee i in. 1993, 1995, Vermes 1998, Bąk 2006, Łabędzki 2006). Jego użyteczność szczególnie uwidacznia się przy przestrzennym analizowaniu okresów zarówno niedoboru, jak i nadmiaru opadów. Normalizacja i standaryzacja ciągów pomiarowych opadu umożliwia obiektywną i porównywalną ocenę suszy meteorologicznej w różnych warunkach klimatycznych i przedziałach czasowych.

Istnieje ścisły związek między warunkami atmosferycznymi (susza meteorologiczna), a rozwojem roślin. Wyczerpanie zapasów wody łatwo dostępnej w glebie, redukcja ewapotranspiracji, wędnięcie lub słaby rozwój roślin i spadek plonu, to najważniejsze skutki suszy rolniczej (agrometeorologicznej). Zmniejszenie plonu można przyjmować za podstawowy wskaźnik skutków suszy rolniczej.

Wskaźniki suszy rolniczej uwzględniają przede wszystkim dane dotyczące opadów, ewapotranspiracji potencjalnej i rzeczywistej roślin, wilgotności gleby oraz plonu. Oprócz najczęściej opisywanych badań dotyczących relacji opad ↔ plon, prowadzone są też badania mające na celu określenie zależności: wskaźniki suszy meteorologicznej ↔ redukcja ewapotranspiracji.

W pracy podjęto próbę opisanie relacji między wiosenną suszą meteorologiczną kwantyfikowaną wskaźnikiem standaryzowanego opadu *SPI*, a suszą rolniczą w uprawie buraka cukrowego kwantyfikowaną wskaźnikiem *CDI<sub>w</sub>*, określającym wielkość redukcji ewapotranspiracji w stosunku do ewapotranspiracji średniej w wieloleciu.

#### ZAKRES PRACY

Obiektem badawczym była uprawa buraka cukrowego na Kujawach w latach 1954-2003. Badania przeprowadzono na 4 glebach (oznaczonych symbolami: *G1*, *G2*, *G3*, *G4*), charakteryzujących się różną zdolnością retencjonowania wody i zróżnicowanym zapasem wody użytecznej (*ZWU*) w 1-m profilu, wynoszącym: 103, 137, 165 i 203 mm. Badane gleby są zakwalifikowane jako czarne ziemie zdegradowane, o opadowo-retencyjnej gospodarce wodnej, z głębokim lustrem

wody gruntowej, nie wpływającym na wilgotność warstwy gleby, w której znajdują się korzenie. Według bonitacyjnej klasyfikacji gleb są to gleby klasy III i IV (dobre, średnio dobre i średniej jakości) zaliczane do kompleksu pszenno-żytniego. Pod względem składu granulometrycznego można je zaliczyć do gleb lekkich i średnich według podziału na agronomiczne kategorie ciężkości (Dzieżyc 1989, 1993, Dobrzański i Zawadzki, 1995).

Badania przeprowadzono w dwóch okresach, obejmujących dwie początkowe fazy fenologiczne wegetacji buraka cukrowego:

- okres I, obejmujący fazę fenologiczną I,
- okres II, obejmujący fazę fenologiczną I i IIa.

Fazy te na Kujawach średnio rozpoczynają się i kończą w następujących terminach (Drupka 1976, Bac 1982, Gąsowski i Ostrowska 1993, Łabędzki 1996):

- faza I – 21.04-10.05 (siew i kiełkowanie),
- faza IIa – 11.05-20.06 (wschody).

#### METODY

Wskaźnik suszy meteorologicznej  $SPI$  obliczano dla sum opadów  $P$  w okresach I i II, czyli od początku okresu wegetacji buraka cukrowego (21.04) do końca fazy fenologicznej I i IIa, według wzoru (Łabędzki 2006):

$$SPI = \frac{f(P) - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} \quad (1)$$

gdzie:  $f(P)$  – znormalizowany ciąg sum opadów (mm),  $\hat{\mu}$  – średnia wartość znormalizowanego ciągu opadów (mm),  $\hat{\sigma}$  – odchylenie standardowe ciągów opadowych przeprowadzono stosując funkcję przekształcającą  $f(P)$ :

$$f(P) = \sqrt[3]{P} \quad (2)$$

Stosując test normalności Lillieforsa stwierdzono, że nie było podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności rozkładu zmiennej przekształconej  $f(P)$ .

Wskaźnik suszy rolniczej  $CDI_w$ , określający wielkość redukcji ewapotranspiracji w stosunku do średniej wieloletniej ewapotranspiracji rzeczywistej, obliczono dla okresów I i II według wzoru (Bąk 2006):

$$CDI_w = 1 - \frac{ET}{ET_{sr}} \quad (3)$$

gdzie:  $ET$  – ewapotranspiracja rzeczywista w okresie (mm),  $ET_{sr}$  – średnia wieloletnia ewapotranspiracja rzeczywista w okresie (mm).

Do symulacji ewapotranspiracji i zmian zapasów wody użytecznej w glebie zastosowano model matematyczny *CROPBALANCE* (Bąk 2006, Łabędzki 2006), opracowany w oparciu o metodę Doorenbosa i Pruitta (1977), która była następnie modyfikowana i weryfikowana przez wielu autorów (Allen i in. 1998, Łabędzki 1988, 1997, Roguski i in. 1988, Smith 1992). Metoda ta została zmodyfikowana w zakresie obliczania wiosennych zapasów wody glebowej na podstawie bilansu okresu zimowego i wprowadzenia współczynnika redukcyjnego ewapotranspiracji w warunkach niedoboru wody glebowej.

Klasyfikację obu rodzajów suszy przyjęto za Bąkiem (2006) – tabela 1.

**Tabela 1.** Klasy suszy meteorologicznej według *SPI* i suszy rolniczej według *CDI<sub>w</sub>*.

**Table 1.** Classes of meteorological drought according to *SPI* and of agricultural drought according to *CDI<sub>w</sub>*.

Klasa suszy Class of drought	Intensywność suszy Intensity of drought	<i>SPI</i>	<i>CDI<sub>w</sub></i>
D0	Łagodna – Mild	0,0 ÷ -0,99	0,0 ÷ 0,19
D1	Umiarkowana – Moderate	-1,0 ÷ -1,49	0,2 ÷ 0,29
D2	Silna – Intensive	-1,5 ÷ -1,99	0,3 ÷ 0,39
D3	Ekstremalna – Extreme	≤ -2,0	≥ 0,4

Siłę i istotność badanych zależności między wskaźnikiem *SPI* oraz *CDI<sub>w</sub>* oceniono za pomocą analizy statystycznej (współczynniki korelacji liniowej i równania regresji liniowej).

#### MATERIAŁ BADAWCZY

Do badań wykorzystano elementy meteorologiczne pomierzone na stacji Bydgoszcz – IMUZ: dobowe sumy opadów oraz dekadowe wartości temperatury powietrza, ciśnienia pary wodnej w powietrzu, usłonecznienia i prędkości wiatru w okresie 21.04-20.06 w latach 1954-2003, a ponadto dekadowe sumy opadów w okresie 01.10-20.04 w wieloleciu 1953-2003.

Parametrami roślinnymi wykorzystywanymi w badaniach modelowych były: głębokość korzenia się rośliny *d* w kolejnych dekadach okresu wegetacji, dekadowe współczynniki roślinne *k<sub>c</sub>* do obliczania ewapotranspiracji rzeczywistej w okresie wegetacji (tab. 2).

Zmiany głębokości korzenia się rośliny *d* w kolejnych dekadach okresu wegetacji przyjęto za Doorenbosem i Pruittem (1977) oraz Roguskim i in. (1988), przyjmując średni przyrost głębokości systemu korzeniowego równy około 10 cm-dek<sup>-1</sup>.

**Tabela 2.** Parametry roślinne i glebowo-wodne w kolejnych dekadach okresu wegetacji buraka cukrowego**Table 2.** Plant and soil-water parameters in successive 10-day periods in sugar beet vegetation season

Miesiąc Month	Dekada 10-day period	$k_c$	$p$	$d$ (m)	ZWU (mm) w glebie ZWU (mm) in the soil			
					$G1$	$G2$	$G3$	$G4$
Kwiecień April	1	0,20*	0,5	0,1	12,2	17,5	16,9	14,5
	2	0,20*	0,5	0,1	12,2	17,5	16,9	14,5
	3	0,20	0,5	0,1	12,2	17,5	16,9	14,5
Maj May	1	0,50	0,5	0,1	12,2	17,5	16,9	14,5
	2	0,55	0,5	0,2	23,5	33,9	33,8	31,4
	3	0,60	0,5	0,3	34,4	49,0	50,7	48,3
Czerwiec June	1	0,70	0,5	0,4	45,4	62,5	67,6	65,5
	2	0,80	0,5	0,5	53,3	76,0	84,5	87,3

$k_c$  – współczynnik roślinny – crop coefficient,  $p$  – współczynnik dostępności wody – evapotranspiration depletion factor,  $d$  – głębokość korzenia – root depth, ZWU – zapas wody użytecznej – available soil water,

\* parowanie z gleby bez roślin – evaporation from bare soil.

Współczynnik roślinny  $k_c$  jest wykorzystywany do obliczenia ewapotranspiracji buraka cukrowego dającego wysoki plon, możliwy do osiągnięcia przy zastosowaniu wysokiego nawożenia i przy Nielimitującym poziomie pozostałych czynników agrotechnicznych (około  $50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), w warunkach braku wpływu wilgotności gleby na natężenie ewapotranspiracji, czyli w przedziale stanów dostatecznego uwilgotnienia. W pracy zastosowano współczynniki roślinne  $k_c$  określone dla kolejnych dekad okresu wegetacyjnego w odniesieniu do wzoru Penmana-Monteitha (Bąk 2006, Łabędzki 2006)

Parametrami glebowo-wodnymi stosowanymi w modelu były: zapasy wody użytecznej ZWU oraz współczynniki dostępności wody  $p$  (tab. 2). Zapas wody użytecznej ZWU (w mm) został obliczony w każdej warstwie 10-centymetrowej profilu glebowego o głębokości 1 m, jako różnica między zapasem wody przy  $pF = 2,0$  i zapasem wody przy  $pF = 4,2$ . Następnie zapasy te sumowano w warstwach o miąższości równej głębokości korzenia się buraków w kolejnych dekadach.

Współczynnik dostępności wody  $p$  określa, jaka część zapasu wody użytecznej ZWU jest łatwo dostępna dla roślin. Jest on zależny od fazy rozwojowej rośliny oraz głębokości korzeni. Charakteryzuje warunki wilgotności krytycznej gleby, przy której rozpoczyna się ograniczenie poboru wody przez korzenie i odpowiada potencjałowi wody glebowej równemu  $-0,1 \text{ MPa}$  ( $pF = 3,0$ ) (Rewut 1980,

Kowalik 1995). W modelu zastosowane wartości współczynnika dostępności wody  $p$  dla buraków cukrowych za Doorenbosem i Pruittem (1977) oraz za Łabędzkiem (1988, 2006).

### WYNIKI

Łącznie (wszystkie klasy suszy) zarówno w okresie I, jak i w II, susze meteorologiczne stanowiły 52% badanego wielolecia (tab. 3). Wyraźnie dominowały łagodne susze ( $-1,0 < SPI \leq 0$ ), które stanowiły około 65% wszystkich susz. W okresie I (21.04-10.05) najintensywniejsza susza meteorologiczna wystąpiła w 2000 r. ( $SPI = -2,36$ ), a w okresie II (21.04-20.06) w 1989 r. ( $SPI = -1,98$ ).

W badanym wieloleciu częstotliwość susz rolniczych, w zależności od zdolności retencyjnych gleb, wynosiła w okresie obejmującym dwie pierwsze fazy fenologiczne buraka (21.04-20.06) od 50 do 42% (Tab. 3). Najwięcej susz rolniczych wystąpiło na glebie  $G1$ , charakteryzującej się najmniejszym zapasem wody użytecznej. Podobnie jak w przypadku susz meteorologicznych, także w przypadku susz rolniczych w obu badanych okresach dominowały susze łagodne. Susze bardziej intensywne pojawiały się rzadziej, a w przypadku susz ekstremalnych, za wyjątkiem gleby  $G1$ , nie stwierdzono ich.

**Tabela 3.** Liczba susz meteorologicznych według  $SPI$  i susz rolniczych według  $CDI_w$   
**Table 3.** Number of meteorological droughts according to  $SPI$  and of agricultural droughts according to  $CDI_w$

Klasa suszy Class of drought	$SPI$		$CDI_w$							
			Okres – Period							
			I				II			
	I	II	Gleby – Soils				Gleby – Soils			
		$G1$	$G2$	$G3$	$G4$	$G1$	$G2$	$G3$	$G4$	
D0	16	17	10	16	14	14	16	14	18	18
D1	7	5	9	5	8	2	5	6	3	3
D2	2	3	2	3	2	4	3	1	1	0
D3	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0
Razem Total	26	26	22	25	25	21	25	21	22	21

Susze meteorologiczne i rolnicze na poszczególnych glebach nie zawsze występowały jednocześnie. Np. w 1972 i 1994 r. susza meteorologiczna nie spowodowała suszy rolniczej, a w 1966 i 1996 r. brak było suszy meteorologicznej, a wystąpiła

łagodna susza rolnicza. W znacznej większości przypadków susza rolnicza była najintensywniejsza na glebie *G1*, a najłagodniejsza na glebie *G4*.

W okresie I, a więc w fazie siewu i kiełkowania buraka cukrowego, tylko na glebie *G1*, czyli o najmniejszych zapasach wody użytecznej, stwierdzono istotny statystycznie związek pomiędzy wskaźnikiem *SPI* i *CDI<sub>w</sub>* ( $r = -0,38$ ), na pozostałych glebach były nieistotne. Małe i nieistotne współczynniki korelacji wskazują na małą zależność suszy rolniczej od meteorologicznej, co jest spowodowane poziomymi zapasami wody w glebie. Stopniowe wyczerpanie poziomych zapasów wody w fazie II spowodowało wzrost zależności pomiędzy obiema suszami, co uwidoczniło się we wzroście wartości współczynników korelacji ( $r = -0,64 \div -0,75$ ) (tab. 4). Otrzymane wartości oznaczają, że udział czynnika opadowego w powstawaniu suszy rolniczej wynosił od 41% na glebie *G4* do 56% na glebie *G1*. Ujemne wartości współczynników korelacji wartości wskaźników *SPI* i *CDI<sub>w</sub>* świadczą, że zmniejszenie sumy opadów powodowało zmniejszenie wartości wskaźnika suszy meteorologicznej *SPI* i wzrost redukcji ewapotranspiracji, a tym samym wzrost wskaźnika suszy rolniczej *CDI<sub>w</sub>*.

**Tabela 4.** Współczynniki korelacji *SPI* i *CDI<sub>w</sub>*

**Table 4.** Correlation coefficients between *SPI* and *CDI<sub>w</sub>*

Gleba Soil	Współczynnik korelacji w okresie Correlation coefficient in the period	
	I	II
	21.04-10.05	21.04-20.06
<i>G1</i>	-0,38*	-0,75*
<i>G2</i>	-0,06	-0,73*
<i>G3</i>	-0,06	-0,69*
<i>G4</i>	-0,12	-0,64*

\* statystycznie istotny z  $p < 0,05$ , statistically significant at  $p < 0,05$ .

W równaniach regresji liniowej  $CDI_w = a + b SPI$ , wyraz wolny  $a \approx 0$  i był nieistotny statystycznie, stąd w przyjętych równaniach został on pominięty (tab. 5). Można więc przyjąć, że początek redukcji ewapotranspiracji odnoszącej się do średnich wielkości ewapotranspiracji w wieloleciu na każdej glebie i w każdym okresie rozpoczynał się przy  $SPI = 0$ . Oznacza to, że każdej meteorologicznej suszy łagodnej i silniejszej towarzyszyła susza rolnicza, której intensywność jest skwantyfikowana wartością wskaźnika *CDI<sub>w</sub>*.

**Tabela 5.** Współczynnik  $b$  w równaniu regresji liniowej  $CDI_w = b \cdot SPI$   
**Table 5.**  $b$  coefficient in the linear equations  $CDI_w = b \cdot SPI$

Gleba Soil	Współczynnik $b$ w okresie $b$ coefficient in the period	
	I	II
	21.04-10.05	21.04-20.06
<i>G1</i>	-0,07	-0,13
<i>G2</i>	-	-0,11
<i>G3</i>	-	-0,09
<i>G4</i>	-	-0,07

”-” – zależność nieistotna – insignificant relationship.

#### WNIOSKI

1. W warunkach klimatycznych Kujaw wiosenne susze meteorologiczne okresach średnio występują co drugi rok.

2. Prawie równie często pojawiają się susze rolnicze, lecz ich liczba uzależniona jest od zdolności retencjonowania wody przez glebę. Najczęściej pojawiają się one na najłagodniejszych glebach, a najrzadziej na glebach ciężkich.

3. W przypadku obu susz, w badanym wieloleciu wyraźnie dominowały susze łagodne. Znacznie mniej wystąpiło susz umiarkowanych i silnych. W pojedynczych przypadkach wystąpiły susze ekstremalne. Wskazuje to na niezbyt duże zagrożenie wiosenną suszą rolniczą na badanych glebach.

4. W okresie wczesnowiosennym (okres I) na różnicę między ewapotranspiracją w danym roku i średnią wieloletnią miały istotny wpływ pozimowe zapasy wody w glebie. Stopniowe ich wyczerpanie w kolejnej fazie fenologicznej buraka cukrowego (faza IIa) powodowało wzrost zależności pomiędzy suszą meteorologiczną i rolniczą, co uwidoczniło się we wzroście wartości współczynników korelacji.

#### PIŚMIENNICTWO

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, 56.
- Bac S. (red.), 1982. Agroklimatyczne podstawy melioracji rolnych w Polsce. Warszawa: PWRiL.
- Bąk B., 2004. Warunki klimatyczne Wielkopolski i Kujaw. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie Zesz. Specj., 9, 14-38.
- Bąk B., 2006. Wskaźnik standaryzowanego opadu *SPI* jako kryterium oceny suszy rolniczej na glebach o różnej retencji użytecznej. IMUZ Falenty. Praca dokt. (maszyn.).
- Dobrzański B. (red.), Zawadzki S. (red.), 1995. Gleboznawstwo. Warszawa, PWRiL.
- Doorenbos J., Pruitt W.O., 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 24. Rome: FAO.



- Drupka S., 1976. Techniczna i rolnicza eksploatacja deszczowni. Warszawa: PWRiL.
- Dzieżyc J., (red.), 1989. Potrzeby wodne roślin uprawnych. Praca zbiorowa. Warszawa: PWN.
- Dzieżyc J., (red.), 1993. Czynniki plonotwórcze - plonowanie roślin. Praca zbiorowa. Warszawa: PWN.
- Gąsowski A., Ostrowska D., 1993. Klucz do oznaczania stadiów rozwojowych niektórych gatunków roślin rolniczych. Wyd. SGGW. Warszawa.
- Kowalik P., 1995. Obieg wody w ekosystemach lądowych. Monog. Kom. Gosp. Wod. PAN z. 9. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Koźmiński C., 1986. Przestrzenny i czasowy rozkład okresów bezopadowych trwających ponad 15 dni na terenie Polski. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 268, 17-36.
- Łabędzki L., 1988. Model matematyczny krótkoterminowej prognozy zapotrzebowania wody do nawodnień. Falenty: IMUZ pr. dokt. maszyn.
- Łabędzki L., 1996. Potrzeby wodne i redukcja plonu roślin przy ograniczonych zasobach wody do nawodnień. Przeg. Nauk. Wydz. Melior. Inż. Środ. SGGW z. 10 s. 311-318.
- Łabędzki L., 1997. Potrzeby nawadniania użytków zielonych – uwarunkowania przyrodnicze i prognozowanie. Rozpr. Habil. Falenty: IMUZ.
- Łabędzki L. 2006. Susze rolnicze - zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. Rozprawy Naukowe i Monografie nr 17 ss. 107.
- Łabędzki L., Bąk B., 2004. Zróżnicowanie wskaźnika suszy atmosferycznej *SPI* w sezonie wegetacyjnym w Polsce. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 4, 2a (11), 111-122.
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proc. of the 8<sup>th</sup> Conference of Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, California, 179-184.
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Preprints of the 9<sup>th</sup> Conference of Applied Climatology, 15-20 January 1995, Dallas, Texas, 233-236.
- Mrugeła S., 2001. Opady atmosferyczne o normalnej i anomalnej wysokości na obszarze Polski (1951-1990). Wydawnictwo UMCS. Rozpr. Habil. LXVI.
- Rewut I. B., 1980. Fizyka gleby. Warszawa. PWRiL.
- Roguski W.: Sarnacka S., Drupka S., 1988. Instrukcja wyznaczania potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych. Mater. Instr., 66, Falenty: IMUZ.
- Smith M., 1992. CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management. FAO Irrig. Drain. Paper, 46.
- Vermes L., 1998. How to work out a drought mitigation strategy. An ICID Guide. DVWK Guidelines, 309.
- Woś A., 1994. Klimat Niziny Wielkopolskiej. Wydawnictwo Naukowe UAM w Poznaniu. Poznań.
- Woś A., 2003. Klimat regionu środkowowielkopolskiego w świetle częstości występowania wybranych typów pogody i ich zmienności w latach 1951-2000. W: Józef Banaszak (red.) Stepowienie Wielkopolski pół wieku później. Wydawnictwo Akademii Bydgoskiej. Bydgoszcz.

METEOROLOGICAL VS. AGRICULTURAL DROUGHT AND SUGAR BEET  
CULTIVATION IN SPRING SEASON IN SOILS OF DIFFERENT  
AVAILABLE WATER RETENTION

*Bogdan Bał<sup>1</sup>, Leszek Łabędzki<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Bydgoszcz Weather Bureau, ul. Bołtucia 10/20, 85-791 Bydgoszcz

e-mail: bogbak@poczta.onet.pl

<sup>2</sup>Institute for Land Reclamation and Grassland Farming, Regional Research Centre  
ul. Glinki 60, 85-174 Bydgoszcz

**Abstract.** The aim of the research was to estimate the threat of drought to sugar beet cultivation in the spring season in the region of Kujawy. For this purpose, analysis was made of the relationships between spring meteorological droughts and agricultural droughts in four soils of different available water retention. Based on 50-year (1953-2003) meteorological data series, crop coefficients and soil-water parameters, two indices of droughts were calculated: *SPI* and *CDI<sub>w</sub>*. The first is an index of meteorological drought and it is computed on the basis of long term record of precipitations. The latter is an index of agricultural drought and refers to the reduction of evapotranspiration in relation to average evapotranspiration in multi-year period. Simulation of evapotranspiration and soil water content was performed with the *CROPBALANCE* model. In the Kujawy region spring meteorological droughts occur every two years, on average. Agricultural droughts occur at almost the same frequency, but their number is dependent on the soil and its total available water content. Agricultural droughts are the most frequent on soils with the lowest water retention (50%) and the most infrequent on soils with the highest water retention (42%).

**Key words:** meteorological drought, agricultural drought, *SPI*, evapotranspiration.