

*Bogdan Bąk*

## **OCENA REDUKCJI EWAPOTRANSPIRACJI BURAKÓW CUKROWYCH NA PODSTAWIE WIELKOŚCI OPADÓW**

---

### ***EVALUATION OF EVAPOTRANSPIRATION REDUCTION OF SUGAR BEET ON THE BASIS OF AMOUNT OF PRECIPITATION***

#### **Streszczenie**

Wielkość redukcji ewapotranspiracji, spowodowaną niedoborem wody w glebie, opisano wskaźnikiem *CDI* (*Crop Drought Index*). Jest on również wskaźnikiem suszy rolniczej. Zbadano relacje pomiędzy opadami *P* i wskaźnikiem *CDI* na uprawie buraka cukrowego na Kujawach, na różnych glebach. Badania modelowe redukcji ewapotranspiracji przeprowadzono w okresie wegetacji buraka cukrowego (21.04–30.09) dla lat 1954–2003. Badania przeprowadzono dla 4 gleb, o zróżnicowanych zapasach wody użytecznej *ZWU* w 1-m profilu, wynoszących: 103, 137, 165, 203 mm. Relacje pomiędzy *P* i *CDI* badano w 5 okresach, powstałych przez dodanie kolejnych faz fenologicznych buraka cukrowego. Siłę i istotność związków oceniono za pomocą analizy statystycznej. Wartości współczynników korelacji pokazywały udział opadów w wielkości redukcji ewapotranspiracji w stosunku do ewapotranspiracji potencjalnej buraka cukrowego w warunkach niedostatecznego uwilgotnienia gleby. Wyznaczono nomogramy, które mogą być pomocnym narzędziem określenia wartości wskaźnika *CDI* na podstawie bieżących pomiarów opadów.

**Słowa kluczowe:** opady, ewapotranspiracja, buraki cukrowe, wskaźnik suszy rolniczej *CDI*

#### ***Summary***

*Reduction of evapotranspiration due to soil water deficit is quantified by *CDI* (*Crop Drought Index*). It is an agricultural drought index. The relationship was examined between precipitation *P* and *CDI* for sugar beet in Kujawy region for different soils. Evapotranspiration reduction was estimated on the basis of*

*model research conducted for the growing season of sugar beet (21.04–30.09) in the years 1954–2003 and for 4 soils, with different total available soil water (103, 137, 165, 203 mm) in the 1-m profile. Relations between P and CDI were studied in 5 time periods, created by adding another subsequent phenological phases of sugar beet. The significance of the relationships was evaluated by using statistical analysis. The correlation coefficients showed the share of precipitation in the reduction of evapotranspiration of sugar beet in relation to potential evapotranspiration. The determined monograms can be useful in determining CDI on the basis of current measurements of precipitation.*

**Key words:** precipitation, evapotranspiration, sugar beet, CDI (Crop Drought Index)

## WSTĘP

Na podstawie praw fizyki wody glebowej i fizjologii roślin, jak również bogatego materiału doświadczalnego przyjmuje się, że ewapotranspiracja w przedziale wilgotności obejmującym stany dostatecznego zaopatrzenia w wodę (lub w warunkach nieograniczonej dostępności wody) nie zależy lub w niewielkim stopniu zależy od wilgotności gleby [Brandyk 1990; Feddes i in. 1978; Korohoda 1985; Rewut 1980; Salisbury, Ross 1975; Więckowski 1985]. W tych stanach uwilgotnienia gleby ewapotranspirację rzeczywistą  $ET$  określa się mianem ewapotranspiracji potencjalnej  $ET_p$ . Jest to ilość wody zużywana przez rośliny w określonym stanie rozwoju, na wydanie wysokiego plonu, na dobrze nawożonych glebach, która zależy tylko od warunków atmosferycznych. Wielkość  $ET_p$  zmienia się w zależności od fazy rozwojowej i masy nadziemnej roślin.

Przy niedostatecznych opadach następuje zmniejszanie wilgotności gleby. Powstaje wówczas susza glebowa, powodująca redukcję ewapotranspiracji. Redukcję tę można kwantyfikować wskaźnikiem suszy rolniczej  $CDI$  (Crop Drought Index) [Bąk 2006; Brunini i in. 2005; Łabędzki 2006].

Celem pracy było zbadanie relacji pomiędzy opadami  $P$  i wskaźnikiem  $CDI$  w uprawie buraka cukrowego na Kujawach, na różnych glebach, o zróżnicowanych zapasach wody użytecznej w 1-m profilu.

## MATERIAŁ BADAWCZY I METODYKA BADAŃ

Badania modelowe wykorzystujące elementy meteorologiczne z wielolecia 1954–2003 przeprowadzono dla 4 gleb występujących na Kujawach Czarnych, o różnych zapasach wody użytecznej  $ZWU$  w 1-m profilu, wynoszących: gleba G1 – 103 mm, gleba G2 – 137, gleba G3 – 165, gleba G4 - 203. Są to czarne ziemie zdegradowane, charakteryzujące się gospodarką opadowo-retencyjną i głębokim lustrem wody gruntowej, niewpływającym na wilgotność warstwy korzeniowej.

Badania prowadzono w 5 okresach, powstałych przez dodanie kolejnych faz fenologicznych buraka cukrowego (siew i kiełkowanie, wschody, 3 para liści i początek grubienia korzeni, żółknięcie liści, dojrzewanie i zbiór): okres I (21.04–10.05), okres IIa (21.04–20.06), okres IIb (21.04–20.07), okres III (21.04–31.08), okres IV (21.04–30.09) [Drupka 1976; Gąsowski, Ostrowska 1993; Łabędzki 1996].

Materiał badawczy w zakresie parametrów meteorologicznych obejmował dobowe sumy opadów w okresie 21.04–30.09 w latach 1954–2003 oraz dekadowe wartości następujących elementów meteorologicznych: temperatury powietrza, ciśnienia pary wodnej w powietrzu, usłonecznienia oraz prędkości wiatru. Dane meteorologiczne pochodzą ze stacji Bydgoszcz-IMUZ, odległej od obszaru Kujaw Czarnych o około 50 km. Są one jednak reprezentatywne dla tego regionu, co wykazały przeprowadzone testy statystyczne [Bąk 2006]. Powyższe parametry meteorologiczne były wykorzystywane do obliczania sum opadów w okresach badawczych i ewapotranspiracji wskaźnikowej  $ET_o$  według wzoru Penmana-Monteitha, do symulacji zmian zapasów wody użytecznej w glebie oraz ewapotranspiracji rzeczywistej buraków cukrowych.

Symulacje zmian zapasów wody użytecznej, obliczenia bilansu wodnego i wilgotności gleby w warstwie korzeniowej buraka cukrowego przeprowadzono z wykorzystaniem modelu matematycznego *CROPBALANCE* [Łabędzki 2006]. Wskaźnik  $CDI$  oblicza się, korzystając z zależności:

$$CDI = 1 - \frac{ET}{ET_p}$$

gdzie:

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

Parametrami roślinnymi wykorzystywanymi w modelu były: data początku i końca okresu wegetacji buraka cukrowego, terminy faz fenologicznych w okresie wegetacji, głębokość korzenienia się rośliny w kolejnych dekadach okresu wegetacji, dekadowe współczynniki roślinne  $k_c$  w okresie wegetacji.

Parametrami glebowo-wodnymi były: zapasy wody użytecznej  $ZWU$  w warstwach 0–10 cm w profilu o miąższości 0–100 cm, współczynniki dostępności wody  $p$  w kolejnych dekadach okresu wegetacji buraka cukrowego.

Silę i istotność związków pomiędzy  $P$  i  $CDI$  oceniono za pomocą analizy statystycznej (współczynniki korelacji liniowej). Wartości współczynników korelacji pokazywały udział opadów w wielkości redukcji ewapotranspiracji buraka cukrowego w warunkach niedostatecznego uwilgotnienia gleby w stosunku do ewapotranspiracji potencjalnej. Końcowym efektem pracy było wyznaczenie nomogramów zależności między  $P$  i  $CDI$  w poszczególnych okresach na podstawie otrzymanych regresji liniowych.

## WYNIKI

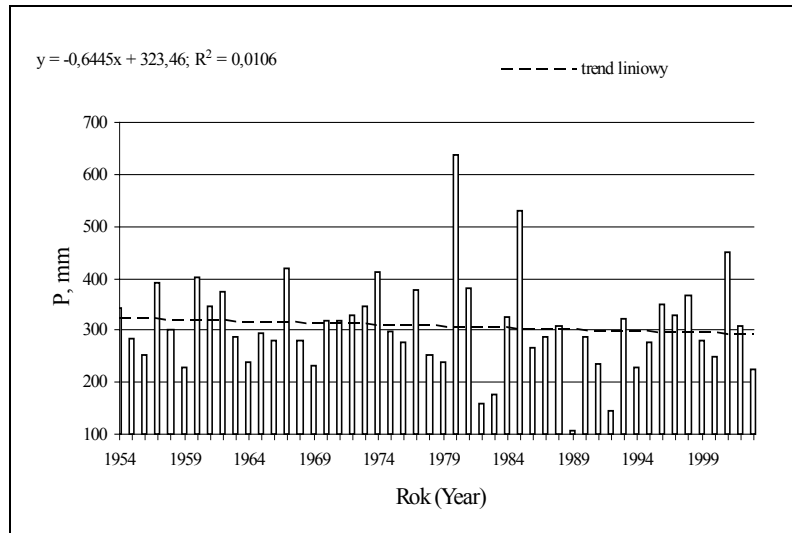
W każdym okresie badawczym, obejmującym kolejne fazy fenologiczne buraka cukrowego, przeważały lata, w których suma opadów była mniejsza od średniej sumy opadów w wieloleciu 1954-2003. W poszczególnych okresach minimalne i maksymalne opady wynosiły: I – 2 i 91 mm; IIa – 33 i 304; IIb – 52 i 538; III – 92 i 587; IV – 105 i 639. Wydłużanie się kolejnych okresów badawczych powodowało, że jednocześnie zmniejszała się wartość współczynnika zmienności opadów, który był największy w okresie I (67%), a najmniejszy w okresie IV, obejmującym cały okres wegetacji (około 30%) (tab. 1).

**Tabela 1.** Statystyki sum opadów P oraz ewapotranspiracji ET i  $ET_p$   
**Table 1.** Statistics of precipitation P and evapotranspiration ET and  $ET_p$

Parametr	Statystyki	Gleba	Okres				
			I	IIa	IIb	III	IV
			21.04– 10.05	21.04– 20.06	21.04– 20.07	21.04– 30.08	21.04– 30.09
$P$	$\bar{x}$ (mm)	–	28	99	176	260	307
	V (%)		67%	47%	45%	34%	30%
$ET$	$\bar{x}$ (mm)	G1	22	109	188	276	319
	V (%)		20	17	21	20	17
	$\bar{x}$ (mm)	G2	25	119	208	300	345
	V (%)		16	15	18	19	17
	$\bar{x}$ (mm)	G3	25	122	219	317	363
	V (%)		16	13	17	17	16
	$\bar{x}$ (mm)	G4	24	124	230	337	384
	V (%)		17	11	14	16	14
$ET_p$	$\bar{x}$ (mm)	G1–G4	28	144	290	463	523
	V (%)		16	9	9	9	8

$\bar{x}$  – wartość średnia – mean value, V – współczynnik zmienności – variation coefficient (%)

W 15 latach wielolecia 1954–2003 opady były mniejsze od średnich jednocześnie we wszystkich okresach. Najbardziej suche okresy wegetacji zanotowano w latach: 1989 (105 mm), 1992 (145), 1982 (161) oraz 1983 (176). W badanym wieloleciu stwierdzono nieistotny statystycznie, ujemny trend liniowy opadów (-0,6 mm/rok) (rys. 1).



**Rysunek 1.** Sumy opadów  $P$  w okresie wegetacji buraka cukrowego (21.04–30.09)

**Figure 1.** Precipitation  $P$  in the growing season of sugar beet (21.04–30.09)

W tych samych okresach, w których analizowano sumy opadów  $P$ , badano zmienność ewapotranspiracji rzeczywistej  $ET$  i ewapotranspiracji potencjalnej  $ET_p$ . W okresie wegetacji średnie wieloletnie sumy  $ET$  na poszczególnych glebach wynosiły: 319 mm na glebie  $G1$ , 345 mm –  $G2$ , 363 mm –  $G3$ , 384 mm –  $G4$ , a ewapotranspiracji potencjalnej  $ET_p$  – 523 mm (tab. 1). Ponieważ w zakresie wody łatwo dostępnej w glebie ewapotranspiracja rzeczywista jest równa ewapotranspiracji potencjalnej ( $ET = ET_p$ ), stąd przyjęto, że ewapotranspiracja potencjalna była taka sama na każdej glebie, ale inna w każdym roku.

W przeciętnych warunkach meteorologicznych na Kujawach, gdy średni deficyt opadów w okresie wegetacji w stosunku do ewapotranspiracji potencjalnej ( $P-ET_p$ ) wynosił 216 mm, dominowała zależność  $ET < ET_p$ . Tylko 4 razy w całym 50-letnim okresie badawczym i tylko na glebie  $G4$  o największym zapasie wody użytecznej, suma ewapotranspiracji rzeczywistej w okresie wegetacji była równa ewapotranspiracji potencjalnej ( $ET = ET_p$ ).

Począwszy od okresu IIa zaznaczała się już prawidłowość, że susza była najbardziej intensywna na najsłabszej glebie ( $G1$ ) i jej intensywność zmniejszała się wraz ze wzrostem zdolności retencyjnych pozostałych badanych gleb (tab. 2). W poszczególnych okresach wielolecia 1954–2003 maksymalne wartości  $CDI$ , uzyskane na dwóch skrajnych glebach  $G1$  oraz  $G4$  wynosiły: I – 0,68 i 0,48 (1989 r.), IIa – 0,56 i 0,42 (1979), IIb – 0,68 i 0,51 (1989), III – 0,71 i 0,58 (1989), IV – 0,71 i 0,58 (1989). Uzyskane wartości pokazują, że o wielkości redukcji ewapotranspiracji, a tym samym o wartości wskaźnika  $CDI$ , decyduje czynnik czasowy (faza fenologiczna) i zdolność retencjonowania wody w glebie.

**Tabela 2.** Statystyki wskaźnika CDI na badanych glebach G1, G2, G3, G4  
**Table 2.** Statistics of CDI index on the test soils G1, G2, G3, G4

Statystyki	Okres				
	I	IIa	IIb	III	IV
	21.04-10.05	21.04-20.06	21.04-20.07	21.04-30.08	21.04-30.09
gleba G1 (soil G1)					
$\bar{x}$ (mm)	0,19	0,23	0,34	0,39	0,38
V (%)	102	78	49	38	37
gleba G2 (soil G2)					
$\bar{x}$ (mm)	0,10	0,17	0,28	0,34	0,33
V (%)	137	98	61	45	45
gleba G3 (soil G3)					
$\bar{x}$ (mm)	0,11	0,14	0,24	0,31	0,30
V (%)	131	104	69	51	50
gleba G4 (soil G4)					
$\bar{x}$ (mm)	0,14	0,13	0,20	0,26	0,26
V (%)	116	103	76	58	57

$\bar{x}$  – wartość średnia – mean value, V – współczynnik zmienności – variation coefficient (%)

Ujemne wartości współczynników korelacji pomiędzy  $P$  i  $CDI$  w kolejnych okresach świadczą, że zmniejszone sumy opadów w badanych okresach powodowały wzrost redukcji ewapotranspiracji, a tym samym wzrost intensywności suszy rolniczej (tab. 3). Najslabsze relacje między opadem i wskaźnikiem  $CDI$  obserwowano w początkowej fazie rozwoju rośliny (okres I), a najsilniejsze w całym okresie wegetacji buraka cukrowego.

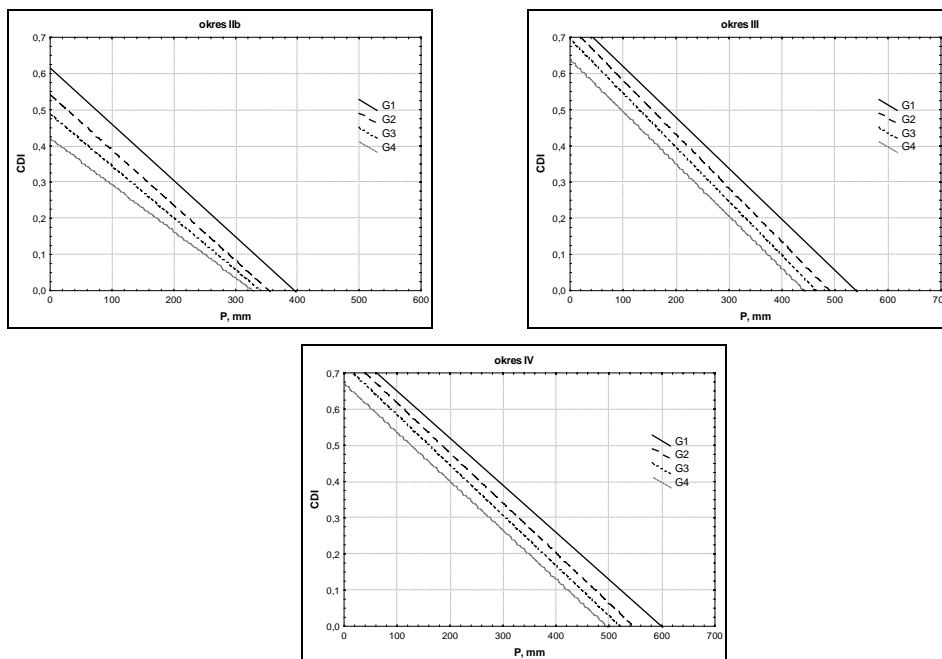
**Tabela 3.** Współczynniki korelacji  $P$  i  $CDI$  w okresach  
**Table 3.** Correlation coefficients between  $P$  and  $CDI$

Gleba	Współczynnik korelacji w okresie				
	I	IIa	IIb	III	IV
	21.04-10.05	21.04-20.06	21.04-20.07	21.04-30.08	21.04-30.09
G1	-0,34	-0,48	-0,61	-0,76	-0,78
G2	-0,20	-0,40	-0,54	-0,73	-0,76
G3	-0,21	-0,35	-0,49	-0,69	-0,72
G4	-0,24	-0,32	-0,42	-0,64	-0,67

Na początku wegetacji buraka cukrowego redukcja ewapotranspiracji jest osłabiona przez zapasy wody pozimowej. W kolejnych okresach na wielkość redukcji ewapotranspiracji ma coraz większy wpływ zdolność gleby do retencjonowania wody i opady. Na glebach o mniejszych zapasach wody użytecznej prowadzi to do szybszego wyczerpywania się wody łatwo dostępnej, czego

efektem jest przyspieszone przesuszanie się gleby, większa redukcja ewapotranspiracji, a w konsekwencji wzrost intensywności suszy rolniczej.

Do wykorzystania w praktyce rolniczej relacji pomiędzy  $P$  i  $CDI$  na różnych glebach, wykonano odpowiednie nomogramy otrzymanych zależności, charakteryzujące się wysokimi współczynnikami korelacji (okresy IIb, III i IV) (rys. 2). Mogą one być wykorzystane do określenia wielkości redukcji ewapotranspiracji w poszczególnych okresach. W pozostałych okresach (I i IIa) oceny  $CDI$  na podstawie  $P$  mogą być obarczone dużymi błędami.



**Rysunek 2.** Nomogramy do wyznaczania  $CDI$  na podstawie  $P$  i na glebach G1-G4 w okresach IIb, III, IV

**Figure 2.** Nomograms for estimating of  $CDI$  using  $P$  for soils G1-G4 in periods IIb, III, IV

## WNIOSKI

1. Na Kujawach, nawet w przeciętnych warunkach meteorologicznych, występuje redukcja ewapotranspiracji w uprawie buraka cukrowego.

2. Istnieje zależność między opadami i redukcją ewapotranspiracji, opisaną wskaźnikiem  $CDI$ . Siła związków systematycznie wzrasta w okresach, w których w procesie ewapotranspiracji buraka cukrowego coraz mniejszą rolę odgrywają pozimowe zapasy wody glebowej, a większe znaczenie mają bieżące opady.

3. Najlepsze relacje między opadami i redukcją ewapotranspiracji występują w okresie III, który obejmuje fazę fenologiczną buraka cukrowego, charakteryzującą się największym zapotrzebowaniem rośliny na wodę oraz w okresie IV, obejmującym cały okres wegetacji.

4. Wyznaczone nomogramy zależności redukcji ewapotranspiracji od opadów mogą być przydatnym narzędziem w codziennej praktyce rolniczej.

#### BIBLIOGRAFIA

- Bąk B. *Wskaźnik standaryzowanego opadu SPI jako kryterium oceny suszy rolniczej na glebach o różnej retencji użytecznej*. Pr. dokt. maszyn, Falenty IMUZ, 2006. s. 160.
- Brandyk T. *Podstawy regulowania uwilgotnienia gleb dolinowych*. Rozpr. Nauk. i Monogr., Wydaw. SGGW-AR, Warszawa 1990. s. 120.
- 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. Pr. zbior. Red. V.K. Boken, A.P. Cracknell, R.L. Heathcote. Oxford, University Press., 2005, s. 156–168.
- Drupka S. *Techniczna i rolnicza eksploatacja deszczowni*. Warszawa, PWRiL, 1976, s. 310.
- Feddes R.A., Kowalik P., Zaradny H. *Simulation of field water use and crop yield*. Simul. Monog. Wageningen, PUDOC, 1978, s.189.
- Gąsowski A., Ostrowska D. *Klucz do oznaczania stadiów rozwojowych niektórych gatunków roślin rolniczych*. Wyd. SGGW. Warszawa, 1993, s. 52.
- Korohoda W. *Pobieranie i transport wody u roślin*. [w:] *Fizjologia roślin*. Pr. zbior. Red. J. Zurzycki, M. Michniewicz. Warszawa, PWRiL, 1985, s. 410–428.
- Łabędzki L. *Potrzeby wodne i redukcja plonu roślin przy ograniczonych zasobach wody do nawodnień*. Przeg. Nauk. Wydz. Melior. Inż. Środ. SGGW, Warszawa, 1996, z. 10 s. 311–318.
- Łabędzki L. *Susze rolnicze - zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji*. Woda Środ. Obsz. Wiej. Rozpr. Nauk. Monog., 2006, nr 17 s. 107.
- Rewut I.B. *Fizyka gleby*. Warszawa, PWRiL, 1980, s. 383.
- Salisbury F.B., Ross C. *Fizjologia roślin*. Warszawa, PWRiL, 1975, s. 838.
- Więckowski S. *Liść jako miejsce transpiracji*. W: *Fizjologia roślin*. Pr. zbior. Red. J. Zurzycki, M. Michniewicz. Warszawa, PWRiL, 1985, s. 396–409.

Dr inż. Bogdan Bąk  
Instytut Melioracji i Użytków Zielonych  
Wielkopolsko-Pomorski Ośrodek Badawczy  
ul. Glinki 60, 85-174 Bydgoszcz  
tel. +48 (52) 375-01-07;  
e-mail: bogbak@poczta.onet.pl

Recenzent: Prof. dr hab. Jacek Żarski