INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND EKOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 2/2007, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 89–102
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Stanisław Rolbiecki, Jacek Długosz, Mirosław Orzechowski, Sławomir Smólczyński

UWARUNKOWANIA GLEBOWO-KLIMATYCZNE NAWODNIEŃ W KRUSZYNIE KRAJEŃSKIM KOŁO BYDGOSZCZY

SOIL-CLIMATIC CONDITIONING OF IRRIGATION AT KRUSZYN KRAJEŃSKI NEAR BYDGOSZCZ

Streszczenie

W opracowaniu zbadano dwa profile glebowe w Kruszynie Krajeńskim koło Bydgoszczy, określając charakterystykę tych gleb oraz ich właściwości wodne. Podano temperatury powietrza oraz sumy opadów atmosferycznych w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego (IV–IX) w latach 1997–2006 dla omawianego terenu. Obliczono również wielkości ewapotranspiracji potencjalnej wzorem Grabarczyka. Określono potrzeby wprowadzenia nawodnień w rozpatrywanych warunkach glebowo-klimatycznych, biorąc pod uwagę następujące kryteria klimatyczne zaproponowane przez Drupkę: sumę opadów okresu wegetacyjnego, ewapotranspirację potencjalną dla tego okresu oraz różnicę pomiędzy nimi. Określono na przykładzie buraka cukrowego opady optymalne według Klatta oraz według Pressa. Korzystając ze wzoru zaproponowanego przez Grabarczyka, w modyfikacji Rzekanowskiego i wsp., obliczono spodziewane, możliwe do uzyskania w latach 1997–2006 zwyżki plonu buraka cukrowego pod wpływem deszczowania.

Słowa kluczowe: gleba lekka, właściwości wodne, klimatyczne kryteria nawodnień, potrzeby wodne roślin, opady optymalne, efekty produkcyjne nawodnień, burak cukrowy

Summary

Two soil profiles at Kruszyn Krajeński near Bydgoszcz were studied at the paper. Characteristic of soils and their water properties were determined. Air temperature (t) values and rainfall amounts (P) in particular months of vegetation period (April–September) in 1997–2006 for the investigated area were given. The vegetation period was characterized by mean air temperature 14,4 °C, ranging in particular years from 13,4 to 15,2 °C. Rainfall total during the vegetation period amounted on average 283,4 mm, ranging from 177,5 to 377 mm. Potential evapotranspiration (Etp) amounts were also determined using Grabarczyk's formula. Irrigation requirements under the considered soil-climatic conditions were determined according to the following Drupka's proposal: rainfall total (P) in the vegetation period as well as potential evapotranspiration (Etp) and difference Etp – P. Irrigation is needed when rainfall is lower than 370 mm, Etp is higher than 515 mm, and difference Etp – P is higher than 150 mm. On the base of rainfall amounts in vegetation period it can be stated that in years 1997-2006 irrigation requirements have been occurred in 8 seasons, and in two remaining years irrigation also could be needed because rainfall amounts were slightly higher from 370 mm (only by 4 and 7 mm, respectively). Potential evapotranspiration (Etp) in the vegetation period calculated according to Grabarczyk's formula was higher than 515 mm in 9 seasons, and in case of the three years (2002, 2003, 2006) it was even higher than 700 mm. In all the considered years, the Etp – P difference was higher than 200 mm that indicated needs of irrigation. Optimal rainfall amounts for sugar beet were determined according to Klatt and Press proposals. Expected sugar beet root yield increases due to sprinkler irrigation which could be obtained in 1997-2006 were estimated using another Grabarczyk's formula modyfied by Rzekanowski at al. These yield increases amounted on average 20 $t\,ha^{-1}$, ranging from 4,16 $t\,ha^{-1}$ to 36,6 $t\,ha^{-1}$ in particular seasons, as dependent on rainfall amounts during critical periods of enhanced water needs of sugar beet.

Key words: *light soil, water proporties, climatic criteria of irrigation, water needs, optimal rainfall, production results of irrigation, sugar beet*

WSTĘP

Do kryteriów przyrodniczych decydujących o celowości i potrzebie nawodnień w rolnictwie zalicza się przede wszystkim kryteria klimatyczne i glebowe [Drupka 1986]. Dobrymi klimatycznymi wskaźnikami potrzeby nawodnień uzupełniających mogą być – zdaniem cytowanego autora – suma opadów okresu wegetacyjnego (IV–IX), ewapotranspiracja potencjalna, bądź też różnica pomiędzy ewapotranspiracją potencjalną (Etp) w okresie wegetacyjnym a sumą opadów atmosferycznych dla tego okresu.

Chociaż nawadnianie gleb klasy V daje bardzo wysokie przyrosty plonów, to jednak – według Drupki [1986] – największe efekty ekonomiczne uzyskuje się w wyniku nawadniania gleb III i IV klasy bonitacyjnej. Inny pogląd prezentował Grabarczyk [1987], którego zdaniem gleby kompleksów żytnich słabych i bardzo słabych należałoby traktować jako główną rezerwę rolnictwa. W Polsce

centralnej (Krainie Wielkich Dolin) zajmują one łącznie około 3,9 mln ha, stanowiąc 44,8% gruntów ornych. Właśnie tu nawodnienia rolnicze powinny odegrać najważniejszą rolę.

Celem badań było określenie właściwości wodnych gleby bardzo lekkiej w rejonie Bydgoszczy, położonym – wg Drupki [1986] – w strefie o największej celowości lokalizacji deszczowni (strefa I) oraz oszacowanie potrzeb i efektów nawadniania upraw rolniczych w latach 1997–2006 na przykładzie buraka cukrowego.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badania przeprowadzono w Kruszynie Krajeńskim koło Bydgoszczy. Sumy opadów atmosferycznych okresu wegetacji (IV–IX) uzyskano z pomiarów własnych wykonywanych w latach 1997–2006 z wykorzystaniem deszczomierza Hellmanna. Wartości temperatur powietrza oraz niedosytów wilgotności powietrza pozyskano z pomiarów w Mochełku prowadzonych przez Zakład Agrometeorologii UTP. Opady optymalne w okresie wegetacji buraka cukrowego w dziesięcioleciu 1997–2006 oszacowano zgodnie z metodyką podaną przez Klatta [Ostromęcki 1973] oraz Pressa [1963]. Miesięczną normę opadu dla średnich temperatur miesięcznych, przyjętą przez Klatta bądź Pressa za podstawę, korygowano o 5 mm na 1°C, a następnie zwiększono ją o stosowną poprawkę dla gleb lekkich – wynoszącą odpowiednio 15 lub 20%. Ewapotranspirację potencjalną obliczono wzorem Grabarczyka [1976]:

$$Etp = 0{,}32(\Sigma d + \tfrac{1}{3}\Sigma t),$$

gdzie:

- d – średni dobowy niedosyt wilgotności powietrza (hPa),
- t – średnia dobowa temperatura powietrza (°C).

Efekty produkcyjne nawadniania buraka cukrowego obliczono zgodnie z ogólną formułą zaproponowaną przez Grabarczyka [1987]:

$$Q = (P_{opt} - P_{rz})\, q$$

gdzie:

- Q – przyrost plonów pod wpływem deszczowania (kg ha^{-1}),
- P_{opt} – opad optymalny w okresie wzmożonego zapotrzebowania roślin na wodę (mm),
- P_{rz} – opad rzeczywisty w okresie wzmożonego zapotrzebowania roślin na wodę (mm),
- Q – przyrost plonów pod wpływem deszczowania (kg ha^{-1}) na 1 mm deficytu opadów.

Okres wzmożonego zapotrzebowania roślin buraka cukrowego na wodę przyjęto, za Rzekanowskim i wsp. [1996] od 1 czerwca do 30 września. Na podstawie wyników ścisłych doświadczeń polowych z deszczowaniem buraka cukrowego, przeprowadzonych na glebie bardzo lekkiej w Kruszynie Krajeńskim w latach 1981–1995, cytowani autorzy wyprowadzili, zgodnie z formułą Grabarczyka, następujące równanie: $Q = 0{,}17\ (325\text{-}P_{\mathrm{VI–IX}})$, które posłużyło do wyliczenia potencjalnych, możliwych do uzyskania przyrostów plonów korzeni buraka cukrowego pod wpływem deszczowania.

W pobranych próbkach glebowych oznaczono:

1. Gęstość objętościową w cylinderkach o pojemności 100 cm^3
2. Porowatość ogólną z wyliczenia:

$$P = (Gw - Go) \cdot Gw^{-1} \cdot 100 \ [\%]$$

gdzie:

P – porowatość ogólna,
Gw – gęstość właściwa,
Go – gęstość objętościowa.

3. Retencję wody glebowej (*pF*) oznaczono w komorach niskociśnieniowych, w przedziale *pF* 0–2,7, oraz komorach wysokociśnieniowych w przedziale *pF* 3,0–4,2 [Zawadzki 1973]. Potencjał wody glebowej zbadano dla wartości *pF* 2,0 (98,1 hPa), pF 2,7 (490,5 hPa), pF 3,0 (981,0 hPa) i pF 4,2 (15 547,9 hPa).
4. Objętość porów glebowych uzyskano z wyliczenia:
   - makropory: porowatość ogólna (*P*) minus zawartość wody przy *pF* 2,0
   - mezopory:
     - PRU (potencjalna retencja użyteczna); różnica zawartości wody przy *pF* 2,0 i *pF* 4,2
     - ERU (efektywna retencja użyteczna); różnica zawartości wody przy *pF* 2,0 i *pF* 2,7
     - DKR (retencja drobnych kapilar) różnica zawartości wody przy *pF* 2,7 i *pF* 4,2
   - mikropory
5. Skład granulometryczny metodą Cassagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego

WYNIKI I DYSKUSJA

Charakterystyka gleby. Na obszarze badawczym występowały dwa podtypy czarnych ziem wytworzonych z piasku aluwialnego: czarna ziemia glejowa i czarna ziemia zbrunatniała. Pierwszy podtyp reprezentowany był przez profil nr 1, w obrębie którego wyróżniono 3 poziomy genetyczne. Na powierzchni występował poziom ornopróchniczny (Ap) o miąższości 33 cm

i uziarnieniu piasku słabogliniastego. Poziom ten charakteryzowała znaczna zawartość węgla org. oraz słabo trwała struktura gruzełkowata. Poziom ten przechodził w poziom przejściowy AC o miąższości 27 cm (33–60 cm) o uziarnieniu piasku luźnego i strukturze rozdzielnoziarnistej. Był to poziom mozaikowy z wyraźnymi wytrąceniami próchnicznymi. Od głębokości 60 cm występował utwór macierzysty (Cgg) o uziarnieniu piasku luźnego i strukturze zbliżonej do poziomu nadległego z wyraźnie widocznym oglejeniem w postaci plamistej. W poziomie tym występowały nieliczne soczewki żelaza $Fe3^{+}$. Czarną ziemię zbrunatniałą reprezentował profil nr 2. Poziom ornopróchniczny (Ap) tej gleby był taki sam, jak profilu nr 1, lecz miał nieco mniejszą miąższość (29 cm). Pod nim położony był mozaikowaty poziom przejściowy AB o uziarnieniu piasku luźnego i strukturze rozdzielnoziarnistej, którego miąższość wynosiła 14 cm (29–43 cm). W stropie tego poziomu stwierdzono obecność licznych wytrąceń próchnicznych i śladowe wytrącenia Fe^{3+}. Na głębokości 43 cm zalegał utwór macierzysty (C) z dużą ilością wytrąceń żelazistych i plam glejowych. W utworze tym występowała nieciągłość litologiczna, gdyż na głębokości 94 cm stwierdzono występowanie bardzo dobrze wysortowanego i drobniejszego piaseku luźnego, który był również oglejony (IICgg). Odczyn badanych gleb był lekko kwaśny do obojętnego, przy czym czarna ziemia zbrunatniała wykazywała niższe pH w KCl-u (5,60–6,29).

Właściwości wodne gleby. Jednym z podstawowych czynników wpływających na plonowanie roślin jest woda i jej dostępność. Dlatego określenie zasobów wody w glebie i zbadanie jej dostępności jest bardzo ważne przy optymalizacji produkcji rolniczej.

W poziomach powierzchniowych (Ap) wytworzonych z piasków słabogliniastych badanych profili glebowych wielkość gęstości właściwej wahała się od 2,290 $Mg \cdot m^{-3}$ do 2,335 $Mg \cdot m^{-3}$ i była niższa niż w skale macierzystej (2,575–2,740 $Mg \cdot m^{-3}$) wykształconej z piasku luźnego (tab. 1). Podobnie niższe wartości w poziomach próchnicznych osiągała gęstość objętościowa rzeczywista. Jej wielkość kształtowała się na poziomie od 1,324 $Mg \cdot m^{-3}$ do 1,462 $Mg \cdot m^{-3}$ i była mniejsza średnio o 0,2–0,3 $Mg \cdot m^{-3}$ niż w skale macierzystej.

Badane gleby wyróżniały się największą objętością porów aeracyjnych. Objętość makroporów (>30 µm) wahała się od 24,7% do 35,3%, co wskazuje na dużą przewiewność i przepuszczalność tych gleb.

W analizowanych glebach wielkość polowej pojemności wodnej (PPW) odpowiadająca zawartości wody przy pF 2,0 była bardzo niska i kształtowała się na poziomie 4,1-17,5% (tab. 2). Większą retencję wodną stwierdzono w poziomach powierzchniowych Ap, gdzie jej wielkość wahała się od 9,6% do 17,5%, niż w skale macierzystej (4,1-5,5%). Podobnie zawartość wody dostępnej dla roślin odpowiadająca potencjalnej retencji użytecznej (PRU) była niska i w poziomach próchnicznych (Ap) nie przekraczała 10%, a w skale macierzystej 5%.

Tabela 1. Właściwości fizyczne gleb
Table 1. Physical properties of soils

Profil Profile	Poziom Genetyczny Genetic horizon	Głębokość Depth	Uziarnienie Texture	Gęstość właściwa Specific density	Gęstość objętościowa Bulk density		Porowatość Porosity	Wilgotność Moisture
					chwilowa temporary	rzeczywista actual		
		[cm]		$Mg \cdot m^{-3}$			% obj.	
Profil 1								
1	Ap	0-33	piasek słabo gliniasty	2,290	1,426	1,324	42,2	10,2
	AC	33-60	piasek luźny	2,680	1,620	1,591	40,6	2,9
	C	60-150	piasek luźny	2,740	1,691	1,653	39,7	3,8
Profil 2								
2	Ap	0-29	piasek słabo gliniasty	2,335	1,533	1,462	37,4	7,1
	AB	29-43	piasek luźny	2,575	1,708	1,678	34,8	3,0
	C	43-94	piasek luźny	2,721	1,699	1,667	38,7	3,2
	IICg	94-150	piasek luźny	2,718	1,683	1,646	39,4	3,7

Tabela 2. Właściwości powietrzno-wodne gleb
Table 2. Air-water properties of soils

Profil Profile	Poziom genetyczny genetic horizon	Głębokość Depth (cm)	Textura Texture	Zawartość wody przy pF Content of water at pF				Makropory Macropores	Mezopory Mezopores			Mikropory Micropores
				2,0	2,7	3,0	4,2		PRU	ERU	DKR	
				% obj.								
Profil 1												
1	Ap	0-33	ps	17,5	14,3	11,6	7,8	24,7	9,7	5,9	3,8	7,8
	AC	33-60	pl	5,5	4,6	2,6	1,2	35,1	4,3	2,9	1,4	1,2
	C	60-150	pl	4,5	3,9	2,2	1,0	35,2	3,5	2,3	1,2	1,0
Profil 2												
2	Ap	0-29	ps	9,6	7,6	6,8	4,1	27,8	5,5	2,8	2,7	4,1
	AB	29-43	pl	4,3	3,6	2,2	1,3	30,5	3,0	2,1	0,9	1,3
	C	43-94	pl	4,4	3,5	2,3	1,1	34,3	3,3	2,1	1,2	1,1
	IICg	94-150	pl	4,1	3,4	2,3	1,1	35,3	3,0	1,8	1,2	1,1

Zawartość wody niedostępnej dla roślin występującej w mikroporach (< 0,2 μm) była znikoma i w poziomach ornych wahała się od 4,1% do 7,8%, a w poziomach podornych wykształconych z piasku luźnego oscylowała na poziomie 1%. Tak małą retencję wodną analizowanych gleb należy tłumaczyć niekorzystnym uziarnieniem wynikającym z dużej zawartości frakcji gruboziarnistej (piasek) i niewielkiej ilości frakcji spławialnej, która decyduje o wielkości sorpcji wody w glebie.

Badane gleby wykazywały bardzo małe zdolności retencji wody glebowej. Gleby te przy uwilgotnieniu w stanie polowej pojemności wodnej (pF 2,0) są w stanie zatrzymać w profilu glebowym od 792,6 Mg · ha^{-1} do 1131,0 Mg · ha^{-1} wody (tab. 3). Zawartość wody dostępnej dla roślin (PRU) wahała się od 537,8 Mg · ha^{-1} do 751,2 Mg · ha^{-1} wody, co w przeliczeniu na cały profil daje warstwę wody od 5,4 cm do 7,5 cm, w tym wody łatwo dostępnej (ERU) od 3,2 cm do 4,8 cm. W glebach tych stwierdzono niekorzystny rozkład porów glebowych. W poziomach próchnicznych (Ap) objętość makroporów przekraczała 3-4 krotnie objętość mezoporów i 3–6-krotnie ilość mikroporów (tab. 2). W skale macierzystej objętość makroporów przekraczała nawet 10-krotnie objętość w mezo- i mikroporów.

Klimatyczne kryteria celowości nawodnień. Średnia temperatura powietrza okresu wegetacyjnego w latach 1997–2006 wynosiła 14,4°C, wahając się w poszczególnych latach od 13,4 do 15,2°C (tab. 4).

Według Drupki [1986], suma opadów okresu wegetacyjnego (IV–IX) nie większa niż 370 mm może decydować o potrzebie wprowadzenia nawodnień w rolnictwie. W badanym dziesięcioleciu (1997–2006) suma ta wyniosła średnio 283,4 mm (tab. 5). Spośród rozpatrywanych lat, tylko w dwóch przypadkach (1998 i 2001) opady bardzo nieznacznie (odpowiednio o 4 i 7 mm) przewyższyły wielkość graniczną podaną przez Drupkę. W ośmiu pozostałych latach suma opadów była niższa od 370 mm, przy czym w trzech sezonach (2000, 2004 i 2005) była ona niższa nawet od 300 mm, a w jednym (2003) wyniosła zaledwie 177 mm. Można zatem stwierdzić, że biorąc pod uwagę kryterium opadowe, potrzeby wprowadzenia nawodnień zaistniały praktycznie w każdym rozpatrywanym sezonie wegetacyjnym, ponieważ w warunkach intensywnego rolnictwa cytowany autor postuluje, aby jeszcze zwiększyć podaną wartość wskaźnikową opadów (370 mm).

Ewapotranspiracja potencjalna w okresie wegetacyjnym większa od 515 mm może być, zdaniem Drupki [1986], czynnikiem przemawiającym za celowością nawodnień w rolnictwie. W badanym dziesięcioleciu tylko jeden okres wegetacyjny (w r. 1998) cechował się niższymi wartościami Etp (418 mm) (tab. 6). W pozostałych dziewięciu sezonach były one wyższe, a w trzech latach (2002, 2003 i 2006) przekraczając nawet 700 mm. Potwierdza to tym samym duże potrzeby nawodnień istniejące w dziesięcioleciu 1997–2006.

Tabela 3. Zasoby wody glebowej
Table 3. The resources of soil water

Profil Profile	Poziom genetyczny Genetic horizon	Głębokość Depth (cm)	Uziarnienie Texture	Zawartość wody przy pF Content of water at pF			Makropory Macropores	Mezopory Mezopores			Mikropory Micropores
				2,0	3,0	4,2		PRU	ERU	DKR	
Profil 1											
1	Ap	0-33	piasek słabogliniasty	577,5* 57,8**	389,4 38,9	257,4 25,7	815,1 81,5	320,1 32,0	194,7 19,5	125,4 12,5	257,4 25,7
	AC	33-60	piasek luźny	148,5 14,9	70,2 7,0	32,4 3,2	947,7 94,8	116,1 11,6	78,3 7,8	37,8 3,8	32,4 3,2
	C	60-150	piasek luźny	405,0 40,5	198,0 19,8	90,0 9,0	3168,0 316,8	315,0 31,5	207,0 20,7	108,0 10,8	90,0 9,0
w całym profilu (0-150 cm)				1131,0 113,1	657,6 65,8	379,8 38,0	4930,8 493,1	751,2 75,1	480,0 48,0	271,2 27,1	657,6 65,8
Profil 2											
2	Ap	0-29	piasek słabogliniasty	278,4 27,8	197,2 19,7	118,9 11,9	806,2 80,6	159,5 16,0	81,2 8,1	78,3 7,8	118,9 11,9
	AB	29-43	piasek luźny	60,2 6,0	30,8 3,1	18,2 1,8	427,0 42,7	42,0 4,2	29,4 2,9	12,6 1,3	18,2 1,8
	C	43-94	piasek luźny	224,4 22,4	117,3 11,7	56,1 5,6	1749,3 174,9	168,3 16,8	107,1 10,7	61,2 6,1	56,1 5,6
	IICg	94-150	piasek luźny	229,6 23,0	128,8 12,9	61,6 6,2	1976,8 197,7	168,0 16,8	100,8 10,1	67,2 6,7	61,6 6,2
w całym profilu (0-150 cm)				792,6 79,3	474,1 47,4	254,8 25,5	4959,3 495,9	537,8 53,8	318,5 31,9	219,3 21,9	254,8 25,5

*- w $Mg \cdot ha^{-1}$ (w tonach na ha)
** - w mm

Tabela 4. Temperatury powietrza w okresie wegetacji w latach 1997–2006
Table 4. Air temperatures of the vegetation period in 1997–2006

Rok Year	Miesiące okresu wegetacyjnego; Months of vegetation period						IV–IX
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
1997	4,7	11,5	16	17,7	19,9	13,2	13,8
1998	9,3	13,8	16,6	16,7	15,5	12,7	14,1
1999	8,6	12,2	16,5	20,0	17,4	15,6	15,0
2000	11,0	14,5	16,7	15,7	17,3	11,7	14,5
2001	7,0	13,1	14,3	19,3	18,3	11,2	13,9
2002	7,5	15,7	16,3	18,9	19,9	12,9	15,2
2003	6,4	14,4	17,6	19,2	18,4	13,6	14,9
2004	7,5	11,3	14,7	16,4	17,9	12,7	13,4
2005	7,4	12,2	14,9	19,4	16,3	14,8	14,2
2006	7,1	12,5	16,8	22,4	16,6	15,2	15,1
1997–2006	7,6	13,1	16,0	18,6	17,7	13,4	14,4

Tabela 5. Opady atmosferyczne w okresie wegetacji w latach 1997–2006
Table 5. Rainfall of the vegetation period in 1997–2006

Rok Year	Miesiące okresu wegetacyjnego; Months of vegetation period						Σ_{IV-IX}
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
1997	25,2	64,1	63,2	120,3	33,3	20,9	327,0
1998	30,6	45,9	44,8	93,9	77,8	84,0	377,0
1999	78,8	49,1	59,7	47,6	55,1	19,2	309,5
2000	16,3	18,6	36,2	57,8	37,0	50,4	216,3
2001	45,0	30,4	48,9	105,8	27,4	116,9	374,4
2002	13,0	50,0	44,0	108,0	41,0	45,0	301,0
2003	13,3	12,1	34,3	88,8	17,8	11,2	177,5
2004	12,1	44,4	35,8	41,8	85,6	24,8	244,5
2005	23,8	69,5	30,7	40,2	20,9	17,9	203,0
2006	45,0	63,5	21,8	30,4	114,5	41,5	316,7
1997–2006	30,3	44,8	41,9	73,5	51,0	43,2	283,4

Tabela 6. Ewapotranspiracja potencjalna w okresie wegetacji w latach 1997–2006
Table 6. Potential evapotranspiration of the vegetation period in 1997–2006

Rok Year	Miesiące okresu wegetacyjnego; Months of vegetation period						$\Sigma_{IV–IX}$
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
1997	42	75	104	111	157	69	558
1998	72	105	67	67	59	48	418
1999	56	104	110	117	134	118	639
2000	86	118	132	88	106	60	590
2001	54	114	95	138	137	56	594
2002	62	123	120	150	164	94	713
2003	65	124	159	135	148	97	728
2004	58	77	99	104	105	77	520
2005	60	98	118	172	132	119	699
2006	56	105	140	232	91	101	725
1997–2006	61	104	114	131	123	84	618

We wszystkich rozpatrywanych latach – z wyjątkiem roku 1998 – różnica pomiędzy ewapotranspiracją potencjalną (Et_p) w okresie wegetacyjnym (IV–IX) a sumą opadów atmosferycznych (P) dla tego okresu była większa od 200 mm, w tym – w dwóch latach przekraczała 300 mm, w trzech następnych 400 mm, a w jednym (rok 2003) – wyniosła aż 550 mm. Według Drupki [1986], wprowadzenie nawodnień w rolnictwie jest celowe, gdy ta różnica (na podstawie wspomnianych obliczeń) jest równa lub większa od 150 mm.

Opady optymalne i spodziewane zwyżki plonu pod wpływem deszczowania na przykładzie buraka cukrowego. Potrzeby wodne buraka cukrowego, oszacowane jako tzw. opady optymalne, przedstawiono w tabeli 7 – według Klatta oraz w tabeli 8 – wg Pressa. W badanym dziesięcioleciu wynosiły one, średnio dla okresu wegetacyjnego, odpowiednio 454 i 482 mm, wahając się w latach w zakresie 420–481 mm i 450–509 mm. Wyższe wielkości opadów – tak dla poszczególnych miesięcy, jak i lat – wyznaczono, licząc je zgodnie z metodyką podaną przez Pressa.

Potencjalne przyrosty plonu korzeni buraka cukrowego – policzone według wzoru podanego przez Rzekanowskiego i wsp. [1996], zgodnie z wcześniejszą formułą zaproponowaną przez Grabarczyka [1987] – kształtowały się w omawianym dziesięcioleciu na średnim poziomie zbliżonym do 20 $t \cdot ha^{-1}$ (tab. 9). Wahały się one jednak – zależnie od opadów atmosferycznych w okresie wzmożonego zapotrzebowania buraka cukrowego na wodę – w szerokim zakresie od 4,16 $t \cdot ha^{-1}$ (rok 1998) do 36,6 $t \cdot ha^{-1}$ (2005 r.). Trzeba zauważyć, że nawet w sezonie o najwyższych opadach można było spodziewać się zwyżek plonu dzięki deszczowaniu. Oszacowane w niniejszym opracowaniu możliwe do osiągnięcia plony dobrze korelują z wynikami ścisłych doświadczeń polowych z deszczowaniem buraka cukrowego, jakie podają w swej pracy Rzekanowski i wsp. [1996]. W cytowanych badaniach, średni przyrost plonu uzyskany z 15 jednorocznych doświadczeń na glebie bardzo lekkiej, wyniósł 19,3 $t \cdot ha^{-1}$, wahając się od 1,5 do 38,6 $t \cdot ha^{-1}$. Odpowiednia, przeciętna zwyżka plonu buraka cukrowego,

uzyskana w 17 jednorocznych eksperymentach w warunkach gleby lekkiej, była niższa (7,4 $t \cdot ha^{-1}$) i mniejszy był także zakres jej zmienności w poszczególnych latach (0,0–22,1 $t \cdot ha^{-1}$). Świadczy to o bardzo dużej wadze kryterium glebowego w różnicowaniu efektów produkcyjnych deszczowania roślin, na co już wcześniej zwracali uwagę w swych pracach Rzekanowski i wsp. [1996] oraz Rzekanowski i Żarski [1998].

Tabela 7. Opady optymalne (mm) dla buraka cukrowego w latach 1997–2006 według Klatta
Table 7. Optimum rainfall (mm) for sugar beet in 1997–2006 according to Klatt

Rok Year	IV	V	VI	VII	VIII	IX	ΣP_{IV-IX}
1997	37,9	48,3	69,0	101,2	119,6	58,6	434,7
1998	64,4	62,1	72,4	95,4	94,3	55,2	443,9
1999	60,9	52,9	71,3	115,0	105,8	72,4	478,4
2000	74,7	65,5	72,4	89,7	104,6	49,4	456,5
2001	51,7	57,5	58,6	95,4	110,4	47,1	420,9
2002	54,0	72,4	70,1	108,1	119,6	56,3	480,7
2003	48,3	65,5	78,2	110,4	111,5	60,9	474,9
2004	54,0	47,1	60,9	94,3	108,1	55,2	419,7
2005	54,0	52,9	62,1	111,5	98,9	67,8	447,3
2006	51,7	54,0	73,6	128,8	101,2	70,1	479,5
Min	37,9	47,1	58,6	89,7	94,3	47,1	419,7
Max	74,7	72,4	78,2	128,8	119,6	72,4	480,7
Średnio; Mean	55,2	57,8	68,9	105,0	107,4	59,3	453,7

Tabela 8. Opady optymalne (mm) dla buraka cukrowego w latach 1997–2006 według Pressa
Table 8. Optimum rainfall (mm) for sugar beet in 1997–2006 according to Press

Rok Year	IV	V	VI	VII	VIII	IX	ΣP_{IV-IX}
1997	39,6	55,2	72,0	105,6	124,8	67,2	464,4
1998	67,2	64,8	75,6	99,6	98,4	63,6	469,2
1999	63,6	57,6	74,4	120,0	110,4	81,6	507,6
2000	78,0	68,4	75,6	93,6	109,2	57,6	482,4
2001	54,0	60,0	61,2	115,2	115,2	55,2	460,8
2002	56,4	75,6	73,2	112,8	118,8	64,8	501,6
2003	50,4	68,4	81,6	115,2	116,4	69,6	501,6
2004	56,4	55,2	63,6	98,4	112,8	63,6	450,0
2005	56,4	57,6	64,8	116,4	103,2	76,8	475,2
2006	54,0	58,8	76,8	134,4	105,6	79,2	508,8
Min	39,6	55,2	61,2	93,6	98,4	55,2	450,0
Max	78,0	75,6	81,6	134,4	124,8	81,6	508,8
Średnio Mean	57,6	62,2	71,9	111,1	111,5	67,9	482,2

Tabela 9. Przyrosty plonu korzeni buraka cukrowego pod wpływem deszczowania (Q)
Table 9. Sugar beet yield increases due to sprinkler irrigation (Q)

Rok Year	$\Sigma P_{VI–IX}$ (mm)	Q (t/ha)
1997	237,7	14,84
1998	300,5	4,16
1999	181,6	24,38
2000	181,4	24,41
2001	299,0	4,42
2002	238,0	14,79
2003	152,1	29,39
2004	188,0	23,29
2005	109,7	36,60
2006	186,4	23,56
Min	109,7	4,16
Max	300,5	36,60
Średnio Mean	207,4	19,98

PODSUMOWANIE

Na obszarze badawczym występowały dwa podtypy czarnych ziem wytworzonych z piasku aluwialnego: czarna ziemia glejowa i czarna ziemia zbrunatniała, charakteryzujące się bardzo małą zdolnością retencji wody glebowej. Gleby te przy uwilgotnieniu w stanie polowej pojemności wodnej (*pF* 2,0) były w stanie zatrzymać w profilu glebowym od 792,6 Mg · ha^{-1} do 1131,0 Mg · ha^{-1} wody. Zawartość wody dostępnej dla roślin (PRU) wahała się od 537,8 Mg · ha^{-1} do 751,2 Mg · ha^{-1} wody, co w przeliczeniu na cały profil daje warstwę wody od 5,4 cm do 7,5 cm, w tym wody łatwo dostępnej (ERU) od 3,2 cm do 4,8 cm.

Okres wegetacji (IV–IX) w latach 1997–2006 cechował się średnią temperaturą powietrza wynoszącą 14,4 °C, z wahaniami w poszczególnych latach od 13,4 do 15,2 °C. Suma opadów atmosferycznych tego okresu wyniosła 283,4 mm, wahając się w poszczególnych sezonach w szerokim zakresie 177,5–377 mm. Obliczone wielkości ewapotranspiracji potencjalnej wg Grabarczyka oraz opadów optymalnych wg Klatta i Pressa wskazywały na występowanie dużych potrzeb stosowania nawodnień w uprawie roślin. Potencjalne przyrosty plonu korzeni buraka cukrowego, policzone według wzoru podanego przez Rzekanowskiego i wsp., zgodnie z wcześniejszą formułą zaproponowaną przez Grabarczyka – kształtowały się w omawianym dziesięcioleciu na średnim poziomie zbliżonym do 20 t·ha^{-1}. Wahały się one jednak – zależnie od wielkości opadów atmosferycznych w okresie wzmożonego zapotrzebowania buraka cukrowego na wodę w poszczególnych latach – w szerokim zakresie od 4,16 t·ha^{-1} do 36,6 t·ha^{-1}.

BIBLIOGRAFIA

Drupka S. *Nawodnienia deszczowniane i kroplowe*. W: Podstawy melioracji rolnych (pr. zbior. pod red. P. Prochala), PWRiL, Warszawa, t.1, rozdz. 7, 1986, s. 449-616.

Grabarczyk S. *Polowe zużycie wody a czynniki meteorologiczne*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 181, 1976, s. 495–511.

Grabarczyk S. *Efekty, potrzeby i możliwości nawodnień deszczownianych w różnych regionach kraju*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 314, 1987, s. 49–64.

Ostromęcki J. *Podstawy melioracji nawadniających*. PWN, Warszawa, 1973, s. 1–450.

Press H. *Praktika selskochozjajstvennych melioracij*. Selchozizdat, Moskva, (przekład z j. niemieckiego), 1963, s. 1–408.

Rzekanowski C., Dudek S., Żarski J. *Potrzeby opadowe buraka cukrowego w świetle wieloletnich doświadczeń polowych*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 438, 1996, s. 61–68.

Rzekanowski C., Żarski J. *Rola kryterium glebowego w kształtowaniu efektów produkcyjnych deszczowania roślin okopowych i zbożowych*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 458, 1998, s. 307–315.

Zawadzki S. *Laboratoryjne oznaczanie zdolności retencyjnych utworów glebowych*. Wiad. IMUZ, 11(2): 1973, s. 11–31.

Dr hab. inż. Stanisław Rolbiecki, prof. UTP
Katedra Melioracji i Agrometeorologii
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
ul. Bernardyńska 6, 85-029 Bydgoszcz
Tel. 0523749552, E-mail: rolbs@utp.edu.pl

Dr hab. inż. Jacek Długosz, prof. UTP
Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
ul. Bernardyńska 6, 85-029 Bydgoszcz
Tel. 0523749512, E-mail: jacekd@utp.edu.pl

Dr inż. Mirosław Orzechowski
Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Plac Łódzki 3, 10- 957 Olsztyn
Tel. 0895234846, E-mail: miroslaw.orzechowski@uwm.edu.pl

Dr inż. Sławomir Smólczyński
Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Plac Łódzki 3, 10- 957 Olsztyn
Tel. 0895234846, E-mail: slawomir.smolczynski@uwm.edu.pl

Recenzent: *Dr hab. inż. Andrzej Misztal*