INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

2025, Vol. 20(1), 177-187
e-ISSN: 2956-7971, License CC-BY 4.0

DOI: https://doi.org/10.14597/infraeco.2025.013

PROGNOZA WZROSTU PLONÓW BURAKA CUKROWEGO POD WPŁYWEM DESZCZOWANIA W REJONIE BYDGOSZCZY ZALEŻNIE OD TRZECH SCENARIUSZY ZMIAN KLIMATU

FORECAST OF THE INCREASE IN SUGAR BEET YIELDS UNDER THE INFLUENCE OF IRRIGATION IN THE BYDGOSZCZ REGION DEPENDING ON THREE CLIMATE CHANGE SCENARIOS

Stanisław ROLBIECKI [1], Jacek ŻARSKI [1], Renata KUŚMIEREK-TOMASZEWSKA [1], Roman ROLBIECKI [1], Barbara JAGOSZ [2]

STRESZCZENIE

Celem przeprowadzonych badań była próba prognozy wzrostu plonów buraka cukrowego pod wpływem deszczowania w rejonie Bydgoszczy zależnie od trzech scenariuszy zmian klimatu. Uwzględniono trzy scenariusze zmian klimatu: RCP4.5, RCP8.5 oraz SRES A1B. Zwyżki plonów korzeni buraka cukrowego pod wpływem deszczowania (Q) w zależności od opadów atmosferycznych w okresie krytycznym ($P_{VII-VIII}$) wyznaczono z równania $Q = 0{,}356\ (241 - P_{VII-VIII})$. Obliczenia przeprowadzono dla okresu prognozowanego (2021–2050), a jako okres referencyjny przyjęto 30-lecie 1991–2020. Wielkości możliwych do uzyskania przyrostów plonu korzeni buraka cukrowego w okresie prognozowanym (2021-2050) mieściły się one w zakresie 34,9 $t \cdot ha^{-1}$ – 63,0 $t \cdot ha^{-1}$ w latach średnich, 45,1 $t \cdot ha^{-1}$ – 67,5 $t \cdot ha^{-1}$ w latach średnio suchych i 50,2 $t \cdot ha^{-1}$ – 69,8 $t \cdot ha^{-1}$ w latach bardzo suchych. Spośród trzech analizowanych scenariuszy zmian klimatu, wyższe efekty produkcyjne deszczowania buraka cukrowego są możliwe do uzyskania w świetle modelu SRES A1B. Przedstawione, bardzo wysokie efekty produkcyjne deszczowania buraka cukrowego mogą stać się podstawą oceny efektywności ekonomicznej tego zabiegu, i w konsekwencji stanowić istotną przesłankę podjęcia decyzji o celowości deszczowania tego gatunku w warunkach przewidywanych zmian klimatu w rejonie Bydgoszczy.

***Słowa kluczowe**: burak cukrowy, deszczowanie, przyrost plonu, region Bydgoszczy, zmiany klimatu*

[1] *Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, Bydgoszcz, Polska*
[2] *Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, Polska*

ABSTRACT

The aim of the study was to forecast sugar beet yield increases under the influence of sprinkler irrigation in the Bydgoszcz region, depending on three climate change scenarios. Three climate change scenarios were considered: RCP4.5, RCP8.5, and SRES A1B. Sugar beet root yield increases under the influence of sprinkler irrigation (Q) depending on precipitation during the critical period (PVII-VIII) were determined using the equation Q = 0.356 (241 – PVII-VIII). Calculations were performed for the forecast period (2021–2050), with the 30-year period 1991-2020 as the reference period. The possible yield increases for sugar beet roots over the forecast period (2021–2050) ranged from 34.9 t·ha^{-1} to 63.0 t·ha^{-1} in average years, 45.1 t·ha^{-1} to 67.5 t·ha^{-1} in moderately dry years, and 50.2 t·ha^{-1} to 69.8 t·ha^{-1} in very dry years. From the three climate change scenarios analyzed, higher production effects of sprinkler irrigation on sugar beet are achievable under the SRES A1B model. The presented very high production effects of sprinkler irrigation on sugar beet can become the basis for assessing the economic effectiveness of this treatment and, consequently, constitute an important premise for making decisions on the advisability of sprinkler irrigation for this species under the conditions of predicted climate change in the Bydgoszcz region.

Keywords: *sugar beet, sprinkler irrigation, yield increase, Bydgoszcz region, climate change*

WSTĘP

Zachodzące zmiany klimatyczne w połączeniu z ograniczonymi zasobami dyspozycyjnymi wody są czynnikami, które mogą istotnie kształtować ewentualny rozwój nawodnień wegetacyjnych w Polsce (Łabędzki, 2009; Wawer, 2020; Marszelewski i Piasecki, 2021; Rzekanowski, 2023). O rozwoju nawodnień w praktyce produkcyjnej rolnictwa decyduje opłacalność tego zabiegu. Z tego punktu widzenia ilościowe rozpoznanie przyrostów plonów pod wpływem nawadniania może być bardzo pomocne. Bowiem uzyskana dzięki nawadnianiu wartość przyrostu plonu stanowi podstawę oceny efektywności ekonomicznej całego przedsięwzięcia (Kuśmierek-Tomaszewska i in., 2023).

Ponieważ nawadnianie w Polsce jest zabiegiem interwencyjnym (uzupełnia braki opadów w czasie wegetacji) możliwe staje się uzależnienie przyrostów plonów pod wpływem deszczowania od wysokości opadów atmosferycznych, co wymaga wieloletnich eksperymentów polowych, prowadzonych w podobnych uwarunkowaniach agrotechnicznych. Udane próby uzależnienia efektów deszczowania od ilości opadów (w okresach wzmożonego zapotrzebowania) podejmowane w Polsce pod koniec XX wieku (Grabarczyk, 1986; Grabarczyk i in., 1990; Żarski, 1989; Rolbiecki i Rolbiecki, 1997; Rolbiecki i in., 2000) opracowano uwzględniając poziom plonowania roślin w tamtym okresie. Obecnie ze względu na postęp hodowlany (nowe odmiany uprawne) i agrotechniczny (nowe technologie uprawy) rośliny uprawne plonują na znacznie wyższym poziomie. Przykładowo, plony korzeni buraka cukrowego w Polsce w latach 1999–2022 zwiększyły się o 80% (Kuśmierek-Tomaszewska i in., 2023).

Celem podjętych badań była próba prognozy wzrostu plonów buraka cukrowego pod wpływem deszczowania w rejonie Bydgoszczy zależnie od trzech scenariuszy zmian klimatu. Obliczenia oparto na przekształconym

równaniu regresji liniowej, które zostało opracowane na podstawie wyników ścisłych doświadczeń polowych, przeprowadzonych na początku XXI wieku, w latach 2005–2020 (Kuśmierek-Tomaszewska i in., 2023).

MATERIAŁ I METODY

W opracowaniu wykorzystano przewidywane miesięczne sumy opadów (P; mm) dla rejonu Bydgoszczy. Uwzględniono trzy scenariusze zmian klimatu: RCP4.5, RCP8.5 oraz SRES A1B. Dane te pozyskano z portalu Klimada 2.0 (https://klimada2.ios.gov.pl/klimat-scenariusze-portal/) dla 2 scenariuszy zmian klimatycznych (RCP4.5 oraz RCP8.5) oraz z publikacji (Bąk i Łabędzki, 2014) dla scenariusza SRES A1B. Scenariusz RCP4.5 jest scenariuszem umiarkowanym, zakładającym wzrost stężenia CO_2 do poziomu 540 ppm w roku 2100 (osiągnięcie wymuszenia radiacyjnego na poziomie 4,5 W/m^2). Scenariusz RCP8.5 jest scenariuszem ekstrapolacyjnym zakładającym wzrost stężenia CO_2 do poziomu 940 ppm w roku 2100 (osiągnięcie wymuszenia radiacyjnego na poziomie 8,5 W/m^2). Trzeci, wykorzystany w niniejszym opracowaniu, scenariusz zmian klimatu dla Polski – SRES A1B – jest oparty na symulacjach przeprowadzonych w projekcie UE ENSEMBLES (http://ensemblesrt3.dmi.dk); należy on do rodziny scenariuszy SRES A1 i uwzględnia równowagę różnych źródeł energii.

W badaniach uwzględniono dwa miesiące półrocza letniego (lipiec, sierpień) dla 3 wybranych dekad (dziesięcioleci) XXI wieku: 2021–2030, 2031–2040 oraz 2041–2050. Jako okres referencyjny przyjęto 30-lecie: 1991–2020, wykorzystując sumy średnich miesięcznych opadów dla Bydgoszczy według pomiarów stacji IMUZ (ITP).

W opracowaniu wykorzystano ścisłą, prostoliniową zależność pomiędzy zwyżkami plonów pod wpływem deszczowania i opadami atmosferycznymi w okresie krytycznym (Grabarczyk, 1986):

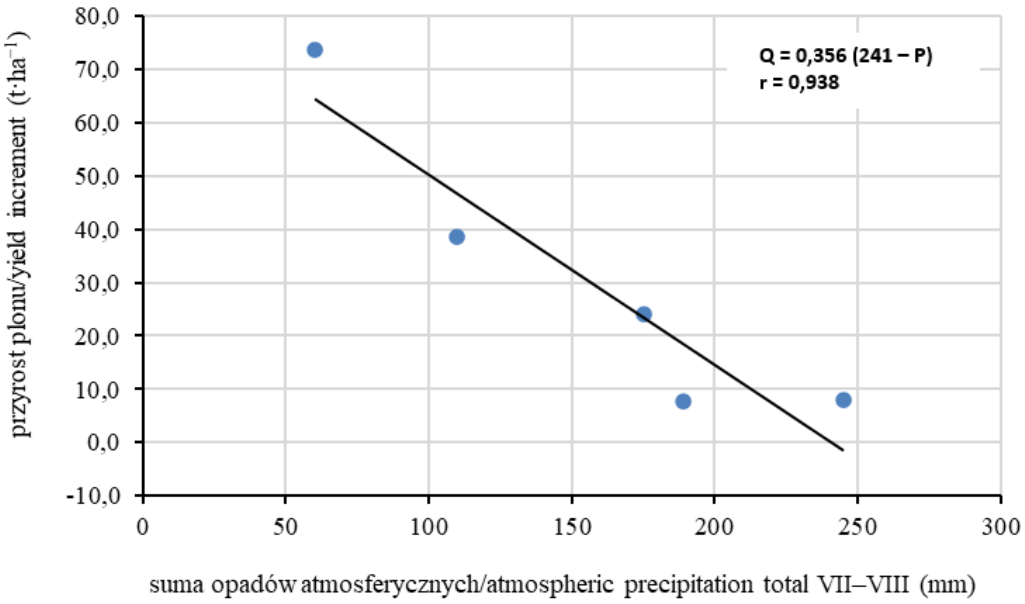
$$Q = q\,(P_{opt} - P_{rz}) \tag{1}$$

gdzie:

- Q – przyrost plonu pod wpływem deszczowania (kg·ha^{-1});
- q – przyrost plonu pod wpływem deszczowania (kg·ha^{-1} na 1 mm deficytu opadów atmosferycznych).
- P_{opt} – opad optymalny w okresie wzmożonego zapotrzebowania roślin na wodę (mm);
- P_{rz} – opady rzeczywiste w okresie wzmożonego zapotrzebowania roślin na wodę (mm);

Wzór pozwalający wyznaczyć zwyżki plonów korzeni buraka cukrowego pod wpływem deszczowania w zależności od opadów atmosferycznych w okresie krytycznym wyznaczono na podstawie zależności przedstawionej w pracy Kuśmierek-Tomaszewska et al. (2023) (rys. 1). Wzór ten po przekształceniu ma postać:

$$Q = 0{,}356\,(241 - P_{rz}) \tag{2}$$



Rysunek 1. Przyrosty plonów korzeni buraka cukrowego pod wpływem deszczowania (t·ha^{-1}) w zależności od sumy opadów atmosferycznych w okresie lipiec-sierpień (mm)
Figure 1. *Increases in sugar beet root yields under the influence of sprinkler irrigation (t·ha^{-1}) depending on the total precipitation in the July-August period (mm).*
Źródło/Source: Opracowanie własne na podstawie / Own study based on: Kuśmierek-Tomaszewska et al. (2023)

Zwyżki plonów korzeni buraka cukrowego wyznaczono dla każdego dziesięciolecia w okresach: prognozowanym (2021–2050) i referencyjnym (1991–2020). Dodatkowo wyznaczono zwyżki plonów korzeni buraka cukrowego dla każdej z trzech kategorii lat tj. dla sumy opadów (VII-VIII) w roku średnim ($P_{50\%}$), średnio suchym ($P_{25\%}$) i bardzo suchym ($P_{10\%}$); korzystano z metody Ostromęckiego (Tabaszewski, 1980; Żakowicz i in.. 2009), wykorzystując współczynniki $B_{p\%}$ (charakteryzujące zmienność opadów dla danej stacji meteorologicznej). Statystyczną charakterystykę sum opadu w miesiącach wzmożonego zapotrzebowania roślin buraka cukrowego na wodę (VII-VIII) w rejonie Bydgoszczy podano w tabeli 1.

Tabela 1. Statystyczna charakterystyka sum opadu w miesiącach wzmożonego zapotrzebowania roślin buraka cukrowego na wodę (VII-VIII) w rejonie Bydgoszczy (P; mm)*
Table 1. *Statistical characteristics of total precipitation in the months of increased water demand of sugar beet plants (VII-VIII) in the Bydgoszcz region (P; mm)**

Wyszczególnienie	Okres referencyjny (1991–2020)	Okres prognozowany (2021–2050)		
		SRES A1B	RCP4.5	RCP8.5
Minimum	120,5	59,7	135,1	140,4
Maksimum	157,9	72,4	149,0	144,4
Rozstęp	37,4	12,7	13,9	4,0
Średnio	135,2	64,1	142,0	142,9

* – wartości średnie dla dekad (okresów 10-letnich) danego 30-lecia i scenariusza zmian klimatu
* – *average values for decades (10-year periods) of a given 30-year period and climate change scenario*

WYNIKI

Wyznaczone z równania regresji możliwe do uzyskania dzięki deszczowaniu zwyżki plonu korzeni buraka cukrowego były zróżnicowane w poszczególnych dziesięcioleciach badanych okresów referencyjnego i prognozowanego (tab. 2). W okresie referencyjnym (porównawczym) najmniejsze przyrosty plonu korzeni (poniżej 30 $t \cdot ha^{-1}$) wystąpiły w dekadzie 2001–2010, a znacznie wyższe (ponad 40 $t \cdot ha^{-1}$) w obu pozostałych dekadach tego okresu. W okresie prognozowanym natomiast efekty produkcyjne deszczowania buraka cukrowego zależały od przyjętego scenariusza zmian klimatu wyższych przyrostów plonów (ponad 60 $t \cdot ha^{-1}$) można się spodziewać, jeśli zmiany klimatyczne wystąpią według scenariusza SRES A1B, a znacznie niższych (w granicach od 32,8 do 37,7 $t \cdot ha^{-1}$) przy uwzględnieniu scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5.

Tabela 2. Spodziewane zwyżki plonu korzeni buraka cukrowego uzyskane dzięki deszczowaniu, zależnie od dekady i scenariusza zmian klimatycznych
Table 2. *Expected increases in sugar beet root yields obtained through irrigation, depending on the decade and climate change scenario.*

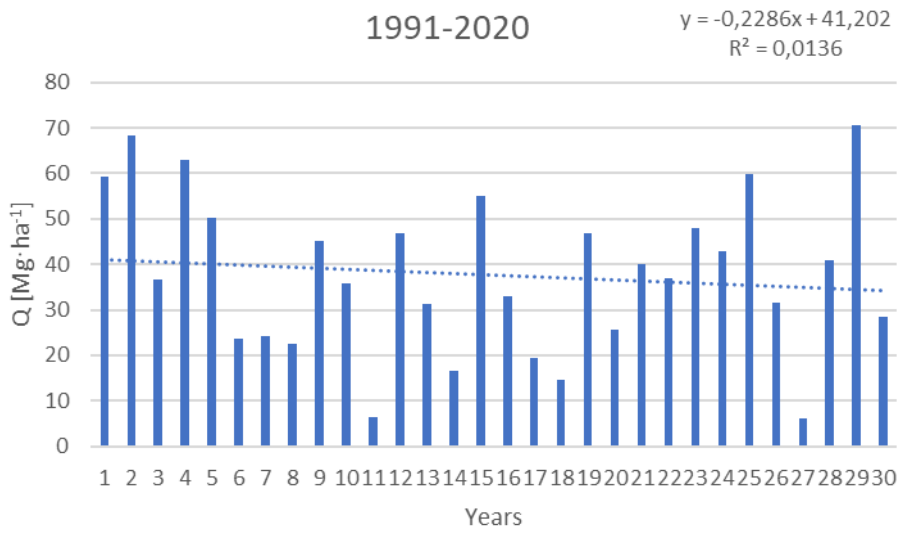
Wyszczególnienie	Dekada	Zwyżka plonu korzeni buraka cukrowego	
		[$kg \cdot ha^{-1}$]	[$t \cdot ha^{-1}$]
Okres referencyjny			
1991–2020	1991–2000	42884	42,9
	2001–2010	29576	29,6
	2011–2020	40516	40,5
Okres prognozowany			
SRES A1B	2021–2030	64329	64,3
	2031–2040	60022	60,0
	2041–2050	64546	64,5
RCP4.5	2021–2030	32752	32,8
	2031–2040	37700	37,7
	2041–2050	35244	35,2
RCP8.5	2021–2030	35814	35,8
	2031–2040	34532	34,5
	2041–2050	34390	34,4

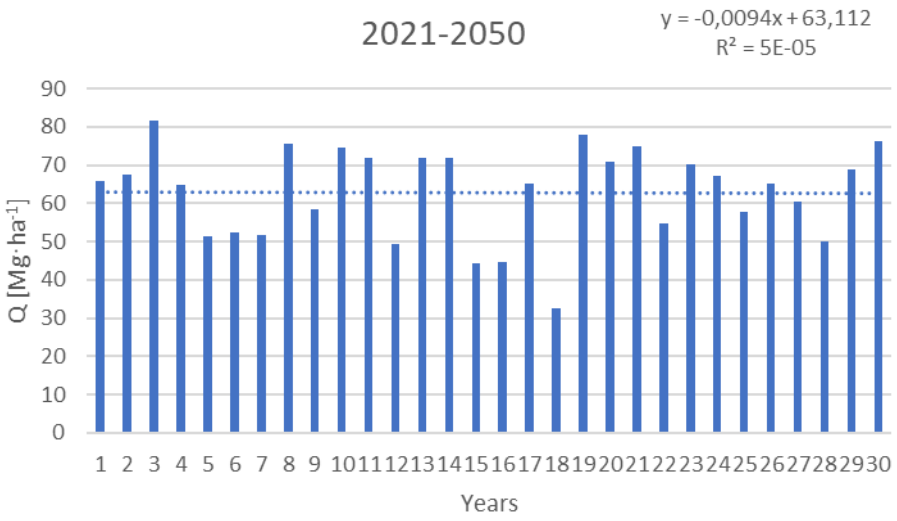
Zwyżki plonu korzeni buraka cukrowego były także zróżnicowane zależnie od rozpatrywanej kategorii lat, czyli odpowiednio dla sumy opadów (VII-VIII) w roku średnim ($P_{50\%}$), średnio suchym ($P_{25\%}$) i bardzo suchym ($P_{10\%}$) (tab. 3). Jeśli w roku średnim (prawdopodobieństwo wystąpienia 1 raz na 2 lata) okresu referencyjnego uzyskiwano przyrost plonu korzeni na poziomie 37,7 $t \cdot ha^{-1}$, to w okresie prognozowanym dla scenariuszy SRES A1B, RCP4.5 i RCP8.5 można spodziewać się zwyżek wynoszących odpowiednio 63,0 $t \cdot ha^{-1}$, 35,2 $t \cdot ha^{-1}$ i 34,9 $t \cdot ha^{-1}$. W roku średnio suchym (1 raz na 4 lata) efekty produkcyjne deszczowania były wyższe i wynosiły: 47,3 $t \cdot ha^{-1}$ w okresie referencyjnym. Natomiast w okresie prognozowanym odpowiednio dla scenariuszy SRES A1B, RCP4.5 i RCP8.5 wyniosłyby one 67,5 $t \cdot ha^{-1}$, 45,3 $t \cdot ha^{-1}$ i 45,1 $t \cdot ha^{-1}$. Najwyższe natomiast efekty produkcyjne można uzyskać w latach bardzo suchych (1 raz na 10 lat): 52,1 $t \cdot ha^{-1}$ w okresie referencyjnym oraz w okresie prognozowanym odpowiednio dla scenariuszy zmian klimatu, 69,8 $t \cdot ha^{-1}$, 50,4 $t \cdot ha^{-1}$ i 50,2 $t \cdot ha^{-1}$.

Tabela 3. Spodziewane zwyżki plonu korzeni buraka cukrowego uzyskane dzięki deszczowaniu w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym zależnie od scenariusza zmian klimatycznych
Table 3. *Expected increases in sugar beet root yields obtained with sprinkler irrigation in an average, moderately dry and very dry year depending on the climate change scenario.*

Wyszczególnienie	**Kategoria roku**	**Zwyżka plonu korzeni buraka cukrowego**	
		[kg·ha^{-1}]	**[t·ha^{-1}]**
Okres referencyjny (1991–2020)			
1991 – 2020	średni	37659	37,7
	średnio suchy	47286	47,3
	bardzo suchy	52100	52,1
Okres prognozowany (2021–2050)			
SRES A1B	średni	62966	63,0
	średnio suchy	67532	67,5
	bardzo suchy	69815	69,8
RCP4.5	średni	35232	35,2
	średnio suchy	45345	45,3
	bardzo suchy	50401	50,4
RCP8.5	średni	34912	34,9
	średnio suchy	45089	45,1
	bardzo suchy	50177	50,2

Na rysunku 2 przedstawiono trend czasowy zwyżek plonu korzeni buraka cukrowego – jakie są możliwe do uzyskania dzięki deszczowaniu – w okresie referencyjnym i prognozowanym (dla scenariusza SRES A1B). Stwierdzono tendencję do zmniejszania się wielkości możliwych do uzyskania przyrostów plonu w obu analizowanych okresach, przy czym w większym zakresie prawidłowość ta zaznaczyła się dla serii danych dla okresu porównawczego (referencyjnego).

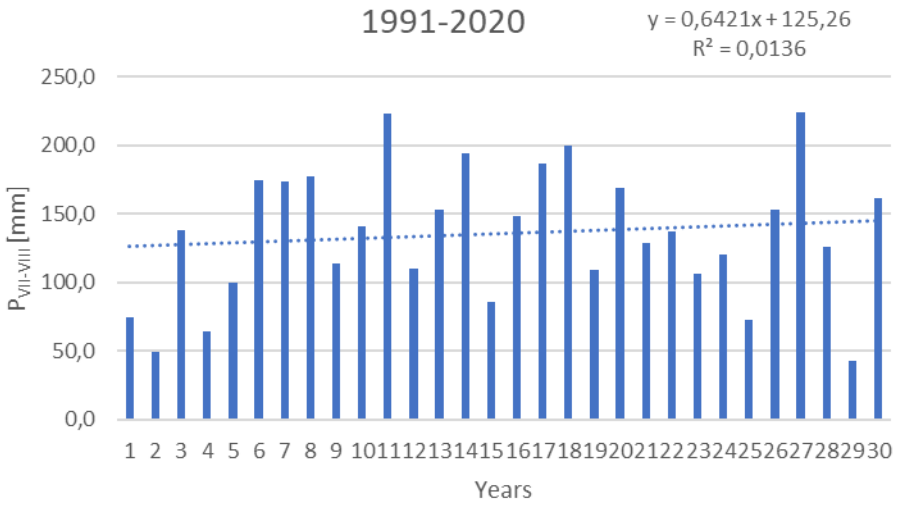


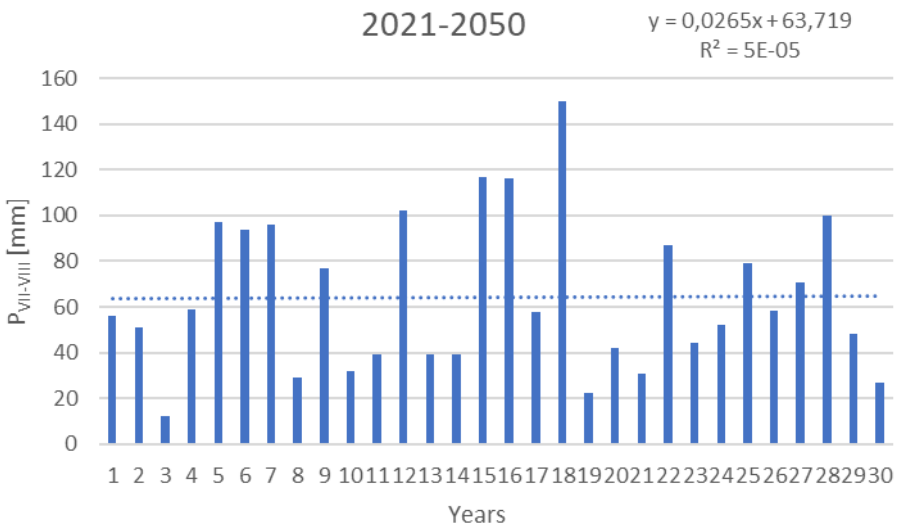


Rysunek 2. Trend czasowy zwyżek plonu korzeni buraka cukrowego uzyskanych pod wpływem deszczowania zależnie od sumy opadu atmosferycznego w okresie wzmożonego zapotrzebowania na wodę (VII-VIII) w rejonie Bydgoszczy w okresie referencyjnym (1991-2020) oraz w okresie prognozowanym (2021-2050) – dla scenariusza SRES A1B

Figure 2. *Time trend of increases in the yield of sugar beet roots obtained under the influence of sprinkler irrigation depending on the total precipitation during the period of increased water demand (July-August) in the Bydgoszcz region in the reference period (1991-2020) and in the forecast period (2021-2050) – for the SRES A1B scenario.*

Na rysunku 3 przedstawiono z kolei trend czasowy sum opadu atmosferycznego w okresie wzmożonego zapotrzebowania na wodę u roślin buraka cukrowego (VII-VIII) w okresie referencyjnym (1991–2020) oraz w okresie prognozowanym (2021–2050). W obu tych trzydziestoleciach wystąpiła tendencja wzrostowa sum opadów, przy czym była ona silniejsza w okresie referencyjnym.





Rysunek 3. Trend czasowy sum opadu atmosferycznego w okresie wzmożonego zapotrzebowania na wodę u roślin buraka cukrowego(VII-VIII) w rejonie Bydgoszczy w okresie referencyjnym (1991-2020) oraz w okresie prognozowanym (2021-2050) – dla scenariusza SRES A1B

Figure 3. *Time trend of total precipitation during the period of increased water demand for sugar beet plants (July-August) in the Bydgoszcz region in the reference period (1991-2020) and in the forecast period (2021-2050) – for the SRES A1B scenario.*

W tabeli 4 zamieszczono zestawienie trendów czasowych dla zwyżek plonu korzeni pod wpływem deszczowania i sum opadów dla obu okresów: referencyjnego i prognozowanego. Z przedstawionych danych wynika wyraźnie, że wraz ze wzrostem sumy opadów malała efektywność deszczowania buraka cukrowego. W większym nasileniu i zakresie prawidłowość ta wystąpiła w okresie referencyjnym przyrosty plonu korzeni buraka cukrowego możliwe do uzyskania dzięki deszczowaniu malały o blisko 2,3 $t \cdot ha^{-1}$ w każdym dziesięcioleciu, podczas gdy suma opadów atmosferycznych wzrastała w tym czasie o 6,4 mm.

Tabela 4. Porównanie trendów zwyżek plonu korzeni buraka cukrowego pod wpływem deszczowania i sum opadów – w okresie referencyjnym i prognozowanym (dla scenariusza SRES A1B)

Table 4. *Comparison of trends in sugar beet root yield increases under the influence of sprinkler irrigation and total rainfall – in the reference and forecasted periods (for the SRES A1B scenario).*

Okres	Tendencja	
	Q [$kg \cdot ha^{-1} \cdot dekada^{-1}$]	P [$mm^{-1} \cdot dekada^{-1}$]
Referencyjny (1991–2020)	- 2286	+ 6.4
Prognozowany (2021–2050) – dla SRES A1B	- 94	+ 0.3

DYSKUSJA

Przedstawione w opracowaniu efekty produkcyjne deszczowania buraka cukrowego, zależnie od sumy opadów atmosferycznych w okresie

krytycznym (tj. w fazie wzmożonego zapotrzebowania buraka na wodę) w latach średnich, średnio suchych i bardzo suchych – z uwzględnieniem trzech scenariuszy zmian klimatu w regionie Bydgoszczy – wskazują na celowość deszczowania tego gatunku w porównywalnych warunkach glebowych i opadowych na obszarze Polski centralnej. Przemawiają za tym wielkości możliwych do uzyskania przyrostów plonu korzeni buraka cukrowego w okresie prognozowanym. Mieściły się one w zakresie od 34,9 t·ha^{-1} do 63,0 t·ha^{-1} w latach średnich, 45,1 t·ha^{-1} – 67,5 t·ha^{-1} w latach średnio suchych i od 50,2 t·ha^{-1} do 69,8 t·ha^{-1} w bardzo suchych. Dla porównania, w okresie referencyjnym wielkości te wyniosły odpowiednio 37,7 t·ha^{-1}, 47,3 t·ha^{-1} i 52,1 t·ha^{-1}. Z kolei w badaniach Kuśmierek-Tomaszewskiej i in. (2023) efekty produkcyjne deszczowania buraka cukrowego mieściły się w zakresie od 36,8 t·ha^{-1} w latach przeciętnych do ponad 60,0 t·ha^{-1} w latach skrajnie suchych. Na podstawie wyznaczonych (prognozowanych) efektów produkcyjnych nawadniania buraka cukrowego można dokonać oceny efektywności ekonomicznej tego zabiegu, na co wskazują w swej pracy m.in. Kuśmierek-Tomaszewska i in. (2023), którzy podkreślają, że z punktu widzenia producentów buraka cukrowego bardzo ważną rolę odgrywa opłacalność zabiegu deszczowania.

Warto nadmienić, że zastosowana w tej pracy formuła (przekształcone równanie regresji liniowej) pozwalająca obliczyć efekty produkcyjne (zwyżki plonów) deszczowania buraka cukrowego, została opracowana na podstawie wyników ścisłych doświadczeń polowych, przeprowadzonych w latach 2005–2020 (Kuśmierek-Tomaszewska i in., 2023). Ma to istotne znaczenie, bowiem zwyżki plonów pod wpływem deszczowania uzyskiwane na pod koniec XX, a nawet na przełomie XX i XXI wieku nie zawsze odzwierciedlają wynikający z postępu odmianowego i agrotechnicznego obecny, wyższy poziom plonowania roślin. Plony korzeni buraka cukrowego w Polsce w latach 1999–2022 zwiększyły się o 80,2%, wzrastając średniorocznie o 13 dt·ha^{-1} (Kuśmierek-Tomaszewska i in., 2023).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie przyjętych założeń i przeprowadzonych obliczeń dla rejonu Bydgoszczy można sformułować następujące stwierdzenia i wnioski:

1. Spośród trzech analizowanych scenariuszy zmian klimatu (SRES A1B, RCP4.5 i RCP8.5), najwyższe, możliwe do uzyskania efekty produkcyjne deszczowania buraka cukrowego generował model SRES A1B.
2. Wielkości możliwych do uzyskania przyrostów plonu korzeni buraka cukrowego w okresie prognozowanym (2021–2050) mieściły się w zakresie od 34,9 t·ha^{-1} do 63,0 t·ha^{-1} w latach średnich, od 45,1 t·ha^{-1} do 67,5 t·ha^{-1} w latach średnio suchych i 50,2 t·ha^{-1} do 69,8 t·ha^{-1} w latach bardzo suchych.
3. Przedstawione, bardzo wysokie efekty produkcyjne deszczowania buraka cukrowego mogą stać się podstawą oceny efektywności ekonomicznej tego zabiegu, i w konsekwencji stanowić istotną przesłankę podjęcia decyzji o celowości deszczowania tego gatunku w warunkach przewidywanych zmian klimatu w rejonie Bydgoszczy.

\

LITERATURA

1. Bąk, B.; Łabędzki, L. (2014). *Prediction of precipitation deficit and excess in Bydgoszcz region in view of predicted climate change*. Journal of Water and Land Development, 23: 11–19.
2. Grabarczyk, S. (1986). *Efekty, potrzeby i możliwości nawodnień deszczownianych w różnych regionach kraju*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 314: 49–64.
3. Grabarczyk, S.; Peszek, J.; Rzekanowski, C.; Żarski, J. (1990). *Rejonizacja potrzeb nawadniania w Krainie Wielkich Dolin*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 387, 73–88.
4. Kuśmierek-Tomaszewska, R.; Żarski, J.; Dudek, S. (2023). *Prognozowanie efektów produkcyjnych deszczowania roślin na podstawie wyników badań polowych*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 18(1): 71–87.
5. Łabedzki, L. (2009). *Przewidywane zmiany klimatyczne a rozwój nawodnień w Polsce*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3/2009: 7–18.
6. Marszelewski, M.; Piasecki, A. (2021). *Legal and water management policy during climate warming in Poland. Bulletin of Geography*. Socioeconomic Series, 54: 63–75.
7. Rzekanowski, C. (2023). *Źródła wody do nawodnień i możliwości ich po zyskiwania – głos w dyskusji*. Materiały konferencyjne XXV Sympozjum Nawadniania Roślin, 12–14.06.2023 Bydgoszcz-Fojutowo, s. 27–28.
8. Rolbiecki, S.; Rolbiecki, R. (1998). *Irrigation effects of red beet (Beta vulgaris L.) under sandy soils conditions as affected by rainfall during the critical periods*. Przegląd Naukowy Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska, 15: 87–90.
9. Rolbiecki, S.; Żarski, J.; Grabarczyk, S. (2000). *Yield-irrigation relationships for field vegetable crops grown in Central Poland*. Acta Hort., 537(2): 867–870.
10. Tabaszewski, J. (1980). Elementy Inżynierii Wodnej, Wyd. AR-T, Olsztyn, 1–189.
11. Wawer, R. (2020). *Gospodarowanie wodą w rolnictwie w zmieniającym się klimacie. Perspektywa przejścia na rolnictwo nawadniane, a sprawiedliwe i zrównoważone korzystanie z wód w świetle rozwiązań hiszpańskich i postępu w informatyce*. Polish Journal of Agronomy, 41: 38–48.
12. Żakowicz, S.; Hewelke, P.; Gnatowski, T. (2009). Podstawy infrastruktury technicznej w przestrzeni produkcyjnej. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 1–192.
13. Żarski, J. (1989). *Zwyżki plonów ogórków gruntowych i selerów pod wpływem deszczowania a opady atmosferyczne w okresie krytycznym*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 343: 67–73.
14. Żarski, J.; Dudek, S., Kuśmierek-Tomaszewska, R.; Rolbiecki, R.; Rolbiecki, S. (2013). *Prognozowanie efektów nawadniania roślin na podstawie wybranych wskaźników suszy meteorologicznej i rolniczej*. Annual Set The Environment Protection, 15: 2185–2203.

Autor korespondencyjny: Stanisław Rolbiecki
ORCID: 0000-0002-1433-2212
e-mail.: Stanislaw.Rolbiecki@pbs.edu.pl

Jacek Żarski
ORCID: 0000-0002-5098-4242
e-mail.: Jacek.Zarski@pbs.edu.pl

Renata Kuśmierek-Tomaszewska
ORCID: 0000-0002-2333-376X
e-mail.: rkusmier@pbs.edu.pl

Roman Rolbiecki
ORCID: 0000-0001-6230-4227
e-mail.: rolbr@pbs.edu.pl

Katedra Biogeochemii, Gleboznawstwa i Melioracji Wodnych
Politechnika Bydgoska im. J. J. Śniadeckich
Al. Prof. S. Kaliskiego 7
85-796 Bydgoszcz

Barbara Jagosz
ORCID: 0000-0003-2701-8246
e-mail: barbara.jagosz@urk.edu.pl

Katedra Biologii Roślin i Biotechnologii
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
al. Mickiewicza 21
31-120 Kraków

Otrzymano: 30.09.2025 r.
Zwrócono po recenzji: 22.12.2025 r.
Zaakceptowano: 29.12.2025 r.