*INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH*
*INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS*

No I/1/2023, POLISH ACADEMY OF SCIENCES, Cracow Branch, pp. 71-87
Commission of Technical Rural Infrastructure

DOI: https://doi.org/10.14597/INFRAECO.2023.003

# PROGNOZOWANIE EFEKTÓW PRODUKCYJNYCH DESZCZOWANIA ROŚLIN NA PODSTAWIE WYNIKÓW BADAŃ POLOWYCH

***Renata KUŚMIEREK-TOMASZEWSKA*** [1]**,**
***Jacek ŻARSKI*** [1]**, *Stanisław DUDEK*** [1]

# *FORECASTING THE PRODUCTION EFFECTS OF PLANT IRRIGATION BASED ON LONG-TERM RESULTS OF FIELD EXPERIMENTS*

***Streszczenie***

W pracy przedstawiono efekty produkcyjne deszczowania buraka cukrowego, rzepaku ozimego, jęczmienia jarego, soi oraz bobiku, uzyskane w wieloletnich (2005–2020) eksperymentach polowych. Doświadczenia prowadzono na glebie lekkiej o zwięzłym podłożu w rejonie Bydgoszczy. Wykazano istotne, prostoliniowe zależności między zwyżkami plonów roślin pod wpływem deszczowania a sumami opadów w okresach wegetacji tych roślin, zwłaszcza w fazach wzmożonego zapotrzebowania na wodę. Średnie wieloletnie efekty produkcyjne deszczowania badanych upraw, które zaprezentowano w pracy oraz ich zmienność w okresie wieloletnim, mogą stanowić podstawę oceny celowości deszczowania roślin w porównywalnych warunkach glebowych i opadowych.

**Słowa kluczowe**: nawadnianie deszczowniane, przyrost plonu, niedobory opadów, bobik, rzepak ozimy, burak cukrowy, soja

[1]*University of Science and Technology in Bydgoszcz, ul. Bernardyńska 6,, 85-029 Bydgoszcz, Poland, e- mail: rkusmier@pbs.edu.pl*

***Abstract***

*The paper presents the production effects of irrigation of sugar beet, winter rape, spring barley, soybean and faba bean, obtained in long-term (2005–2020) field experiments. The experiments were carried out on light soil with compact subsoil in the Bydgoszcz area. Significant, rectilinear relationships were found between increases in plant yields under the influence of sprinkler irrigation and precipitation totals in the vegetation periods of these plants, especially in the phases of increased water demand. The average long-term production effects of irrigation of the surveyed crops, which are presented in the work and their variability over the long-term period, may be the basis for assessing the desirability of irrigation of plants in areas of comparable soil and precipitation conditions.*

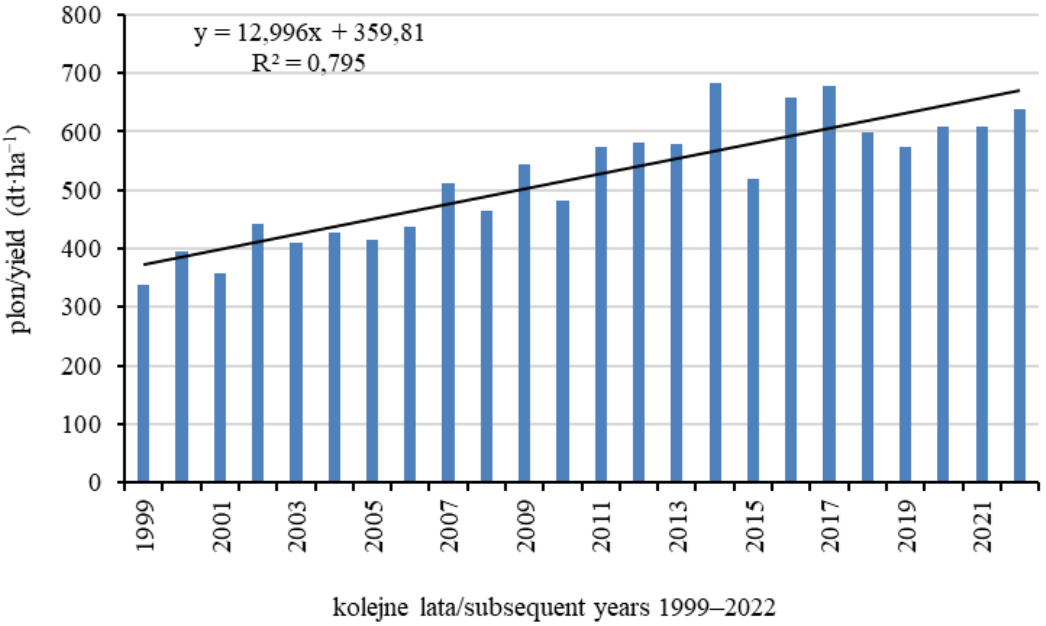
**Keywords**: sprinkler irrigation, yield increase, rainfall deficiency, faba bean, winter rapeseed, sugar beet, soybean

## WSTĘP

Ewentualny rozwój nawodnień rolniczych w Polsce uwarunkowany jest wieloma czynnikami, wśród których najczęściej rozpatruje się zachodzące zmiany klimatyczne oraz braki i możliwości zwiększenia źródeł wody do nawadniania (Łabędzki 2009, Wawer 2020, Marszelewski i Piasecki 2021, Rzekanowski 2023). Jednak z punktu widzenia producentów ważną rolę odgrywa opłacalność tego zabiegu. W jej ocenie kluczowe wydaje się rozpoznanie ilościowe przyrostów plonów pod wpływem nawadniania, których wartość stanowi podstawę oceny efektywności ekonomicznej przedsięwzięcia. Aktualnie prowadzone są tylko nieliczne badania na ten temat, a praktyka wykorzystuje dane z lat minionych. Jednak zwyżki plonów pod wpływem deszczowania uzyskiwane na pod koniec XX, a nawet na przełomie XX i XXI wieku nie zawsze odzwierciedlają obecny, wyższy poziom plonowania roślin, wynikający z postępu odmianowego i agrotechnicznego. Przykładowo plony korzeni buraka cukrowego w Polsce w latach 1999–2022 zwiększyły się o 80,2%, wzrastając średniorocznie o 13 $dt \cdot ha^{-1}$ (rys. 1). W tych samych latach plony pszenicy wzrosły o 50,1%, rzepaku i rzepiku o 41,7%, a kukurydzy na ziarno w latach 2004–2022 o 25,3%.

Celem pracy jest przedstawienie efektów produkcyjnych deszczowania wybranych gatunków roślin uprawnych, uzyskanych w doświadczeniach polowych w rejonie Bydgoszczy od roku 2005. W podjętych badań chodziło o wskazanie okresów kalendarzowych, w których warunki opadowe miały największy istotny wpływ na wysokość zwyżek plonów wybranych upraw polowych pod wpływem deszczowania. Założono, że w przypadku znalezienia istotnych zależności typu pogoda-plon, będą one mogły być przydatne

w prognozowaniu efektów, a zatem programowaniu rozwoju nawadniania roślin w porównywalnych warunkach glebowo-klimatycznych Centralnej Polski, z uwzględnieniem możliwości dokonania oceny efektywności ekonomicznej.




**Rysunek 1.** Trend wzrostu plonów korzeni buraka cukrowego w Polsce (dt·ha$^{-1}$) w latach 1999–2022

**Źródło:** opracowanie własne na podstawie danych GUS)

***Figure 1.*** *Upward trend in sugar beet root yields in Poland (dt·ha$^{-1}$) in 1999–2022.*

***Source:*** *own elaboration based on Central Statistical Office data)*

## MATERIAŁ I METODY

Modelowanie efektów produkcyjnych (zwyżek plonów) deszczowania roślin wykonano na podstawie wyników ścisłych doświadczeń polowych, przeprowadzonych w latach 2005–2020. Eksperymenty prowadzono na polu doświadczalnym Politechniki Bydgoskiej zlokalizowanym w miejscowości Mochełek pod Bydgoszczą. Pole znajduje się około 20 km od centrum miasta, na południowowschodniej krawędzi Wysoczyzny Krajeńskiej (φ=N53°13', λ=E17°51', h=98,5 m n. p. m.). Jest to strefa o najniższych opadach atmosferycznych, a zatem o największych przeciętnych niedoborach opadów atmosferycznych i potrzebach stosowania uzupełniającego nawadniania w Polsce pod względem kryterium klimatycznego. Doświadczenia polowe prowadzono na glebie płowej właściwej,

wytworzonej z piasków fluwioglacjalnych, zaliczanej do klasy bonitacyjnej IV a oraz do kompleksu przydatności rolniczej żytniego bardzo dobrego. Pod względem składu granulometrycznego, gleba pola doświadczalnego jest określona, jako to gleba lekka na podłożu zwięzłym (słabo gliniasty piasek na płytko zalegającej glinie średniej). Zawartość części spławianych wynosi 18% w warstwie 0–50 cm i 46% w warstwie 51–100 cm. Zapas wody w warstwie 0–100 cm przy stanie polowej pojemności wodnej wynosi 215 mm (Żarski i in. 2013). Biorąc pod uwagę warunki glebowe doświadczenia, stosowane deszczowanie miało typowy dla warunków klimatycznych centralnej Polski charakter interwencyjny, uzupełniający ewentualne okresowe braki opadów atmosferycznych w okresie wzmożonych potrzeb wodnych roślin.

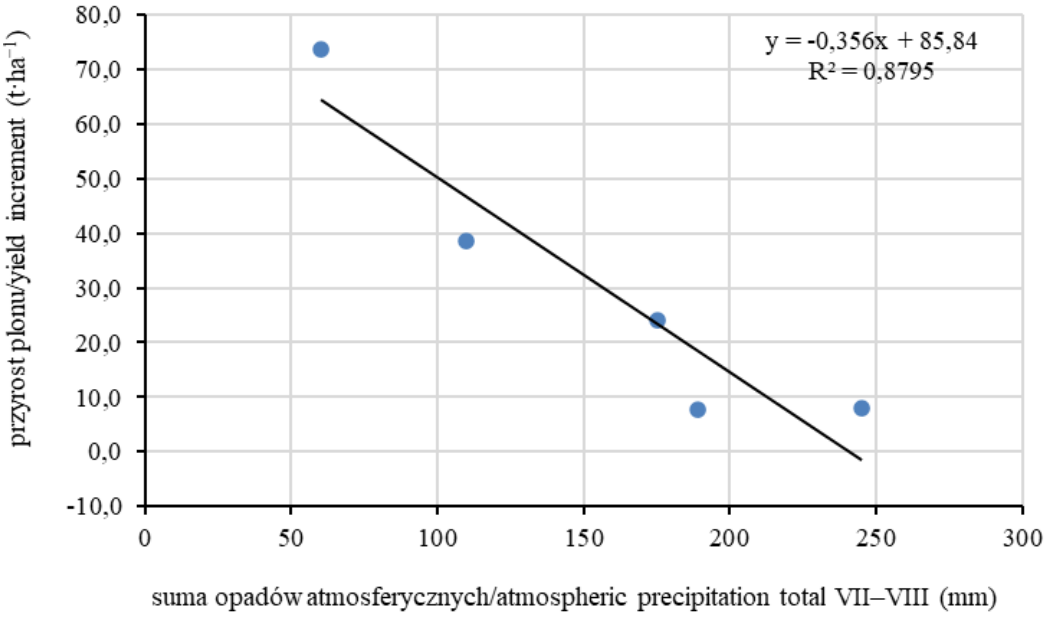
W pracy wykorzystano wyniki pomiarów wysokości opadów atmosferycznych, prowadzonych w sposób standardowy, zgodny z procedurami Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO), w punkcie pomiarowym Mochełek, usytuowanym w pobliżu pola doświadczalnego. Punkt pomiarowy działa nieprzerwanie od 1949 roku. Obszar stacji jest wolny od wpływu miejskich czynników antropogenicznych. Wyniki pomiarów i obserwacji meteorologicznych są reprezentatywne dla szerszego rejonu.

Badaniami, w których pierwszym czynnikiem różnicujących badane cechy roślin było deszczowanie, objęto następujące uprawy: burak cukrowy, rzepak ozimy, jęczmień jary browarny, soja oraz bobik. Uprawy deszczowano optymalnie, zapewniając roślinom wodę łatwo dostępną w korzeniowej warstwie gleby w całym okresie wzmożonych potrzeb wodnych. Terminy wykonywania deszczowania ustalano wykorzystując stały monitoring wilgotności korzeniowej warstwy gleby za pomocą bilansowania ilości wody łatwo dostępnej na podstawie parametrów meteorologicznych metodą Drupki (1976) oraz bezpośrednich pomiarów wilgotności gleby przy użyciu sondy Fieldscout TDR 300 Soil Moisture Meter. Rośliny deszczowano za pomocą przenośnego systemu deszczownianego, wykorzystującego niskociśnieniowe zraszacze typu Nelson o jednostkowej wydajności 200 $dm^3 \cdot h^{-1}$. Liczba jednorazowych dawek nawodnieniowych i sumaryczna dawka sezonowa zależała od przebiegu warunków pogodowych, głównie od wysokości i rozkładu opadów atmosferycznych. Przygotowując niniejszą publikację wykorzystano zarówno nieopublikowane wcześniej rezultaty deszczowania roślin, jak i efekty produkcyjne nawadniania zamieszczone w różnych ujęciach i wieloleciach, w pracach autorów z ośrodka bydgoskiego (Dudek i in. 2013, Żarski i in. 2013, Dudek i in. 2018, Żarski i in. 2019, Żarski i in. 2020, Kropkowski 2023).

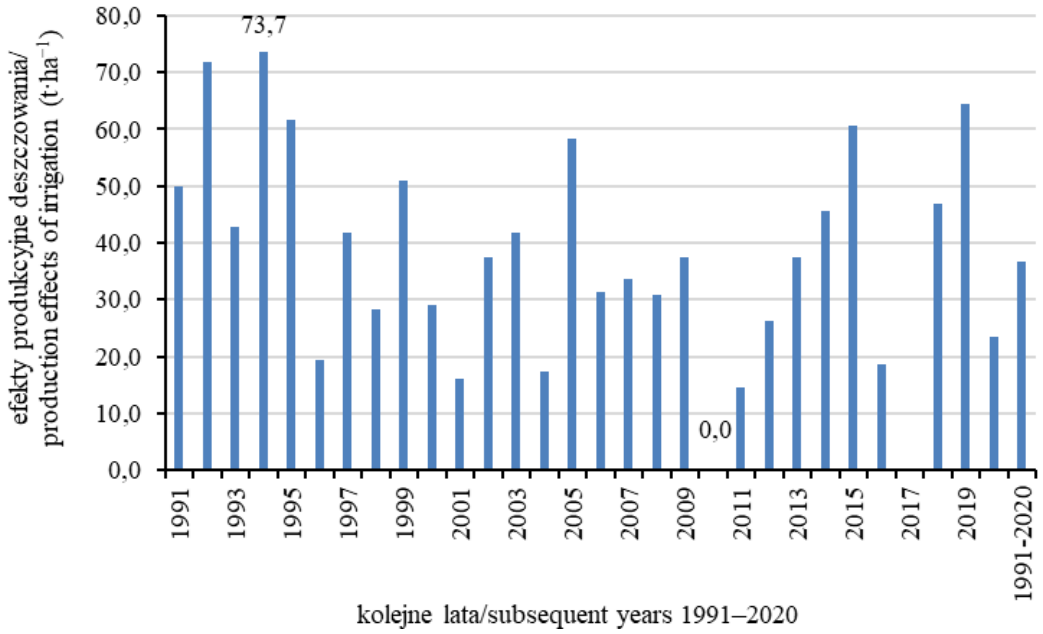
## WYNIKI

### Burak cukrowy

Doświadczenia prowadzono z odmianą ‘Igloo’ w sezonach wegetacji 2016–2020. Zwyżki plonów korzeni buraka cukrowego pod wpływem deszczowania uzyskane w jednorocznych doświadczeniach polowych zależały istotnie od sumy opadów atmosferycznych w miesiącach lipiec–sierpień (rys. 2). Wykorzystując równanie regresji przedstawiono prognozę efektów produkcyjnych deszczowania buraka w latach 1991–2020 (rys. 3). Wynika z niej, że przeciętne zwyżki plonów korzeni buraków cukrowych pod wpływem deszczowania wynoszą w warunkach glebowo-klimatycznych doświadczenia polowego (gleba lekka na zwięzłym podłożu, rejon Bydgoszczy) 36,8 t·ha$^{-1}$, a w skrajnie i bardzo suchych okresach wzmożonego zapotrzebowania buraków na wodę (1992, 1994, 1995, 2015, 2019 rok) przekraczają 60 t·ha$^{-1}$.



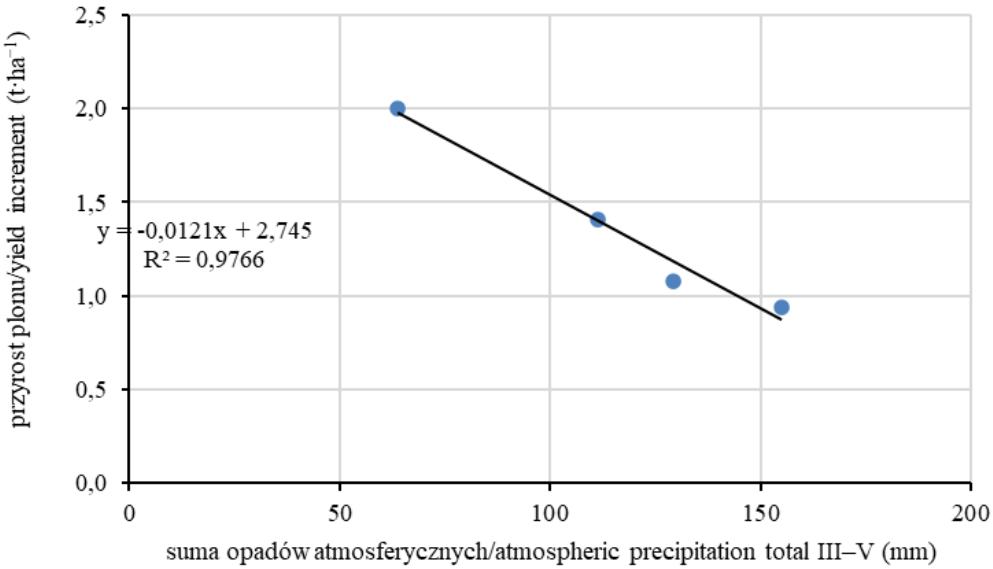

**Rysunek 2.** Przyrosty plonów korzeni buraka cukrowego pod wpływem deszczowania (t·ha$^{-1}$) w zależności od sumy opadów atmosferycznych w lipcu i sierpniu (mm)
***Figure 2.*** *Yield increments of sugar beet roots under the influence of sprinkler irrigation (t·ha$^{-1}$) depending on the sum of precipitation in July and August (mm).*



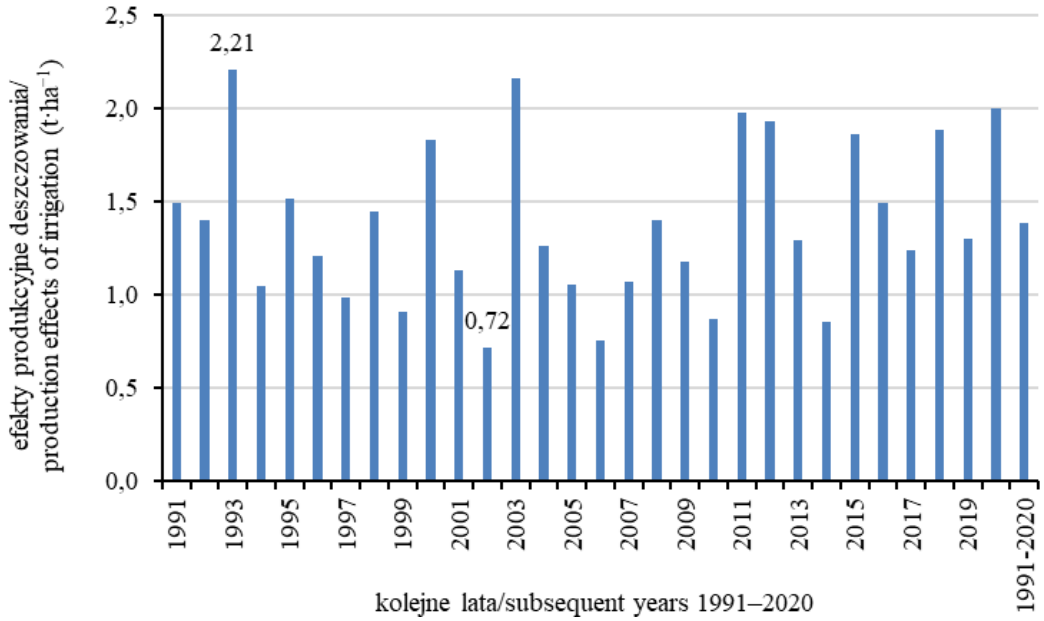

**Rysunek 3.** Oczekiwane efekty produkcyjne deszczowania buraka cukrowego (t·ha$^{-1}$) na glebie lekkiej w rejonie Bydgoszczy w latach 1991–2020
***Figure 3.*** *Expected production effects of sugar beet irrigation (t·ha$^{-1}$) on light soil in the area of Bydgoszcz in 1991–2020.*

## Rzepak ozimy

Doświadczenia z deszczowaniem odmiany ‘Californium’ prowadzono w latach 2007/08–2010/11 (Dudek i in. 2013). Zwyżki plonów nasion rzepaku ozimego pod wpływem deszczowania uzyskane w czterech jednorocznych doświadczeniach polowych zależały istotnie od sumy opadów atmosferycznych w miesiącach marzec-maj (rys. 4). Równanie regresji pozwoliło na przedstawienie oczekiwanych efektów produkcyjnych deszczowania rzepaku ozimego w latach 1991–2020 (rys. 5). Przeciętne zwyżki plonów nasion rzepaku ozimego pod wpływem deszczowania wynoszą w warunkach glebowo-klimatycznych doświadczenia polowego (gleba lekka na zwięzłym podłożu, rejon Bydgoszczy) 1,38 t·ha$^{-1}$, a maksymalne przekraczają 2,0 t·ha$^{-1}$.



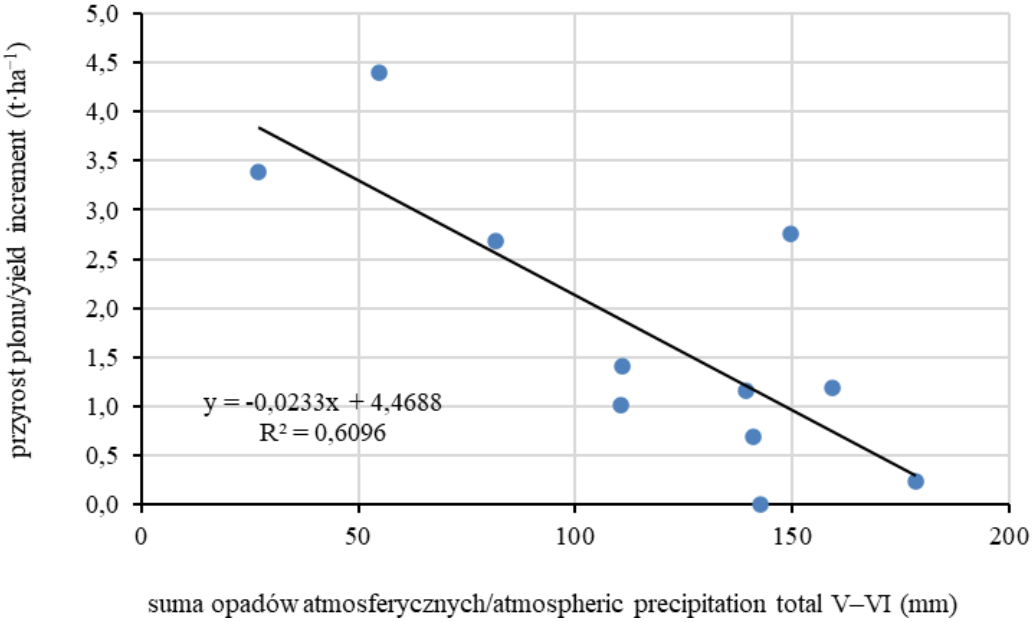

**Rysunek 4.** Przyrosty plonów nasion rzepaku ozimego pod wpływem deszczowania (t·ha$^{-1}$) w zależności od sumy opadów atmosferycznych w marcu, kwietniu i maju (mm)
***Figure 4.*** *Yield increments of winter rapeseed under the influence of irrigation (t·ha$^{-1}$) depending on the atmospheric precipitation totals of March, April and May (mm).*



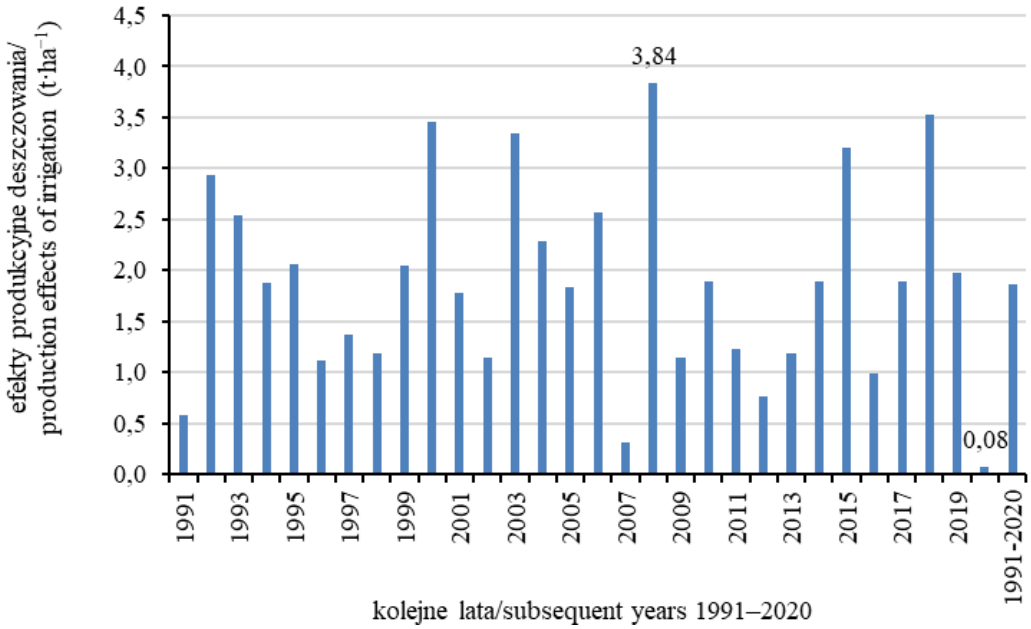

**Rysunek 5.** Oczekiwane efekty produkcyjne deszczowania rzepaku ozimego (t·ha$^{-1}$) na glebie lekkiej w rejonie Bydgoszczy w latach 1991–2020
***Figure 5.*** *Expected production effects of irrigation of winter rapeseed (t·ha$^{-1}$) on light soil in the Bydgoszcz region in the years 1991–2020.*

## Jęczmień jary

Doświadczenia prowadzono w latach 2006–2017. Uprawiano różne odmiany browarne jęczmienia jarego: 'Poldek' 2006–2008, 'Mauritia' 2009, 'Marthe' i 'Mauritia' 2010–2012, 'Signora' od 2013. Zwyżki plonów ziarna jęczmienia pod wpływem deszczowania osiągnięte w jedenastu jednorocznych doświadczeniach polowych zależały istotnie od sumy opadów atmosferycznych w miesiącach maj-czerwiec (rys. 6). Wykorzystując równanie regresji przedstawiono spodziewane efekty produkcyjne deszczowania jęczmienia jarego browarnego w latach 1991–2020 w rejonie Bydgoszczy na glebie lekkiej na zwięzłym podłożu (rys. 7). Z modelu wynika, ze średnie wieloletnie przyrosty plonów ziarna pod wpływem deszczowania wynoszą w warunkach glebowo-klimatycznych eksperymentu polowego 1,87 t·ha$^{-1}$, a w sezonach o bardzo niskich opadach atmosferycznych w okresie wzmożonego zapotrzebowania jęczmienia jarego na wodę (2000, 2003, 2008, 2015 i 2018) przekraczają 3,20 t·ha$^{-1}$.



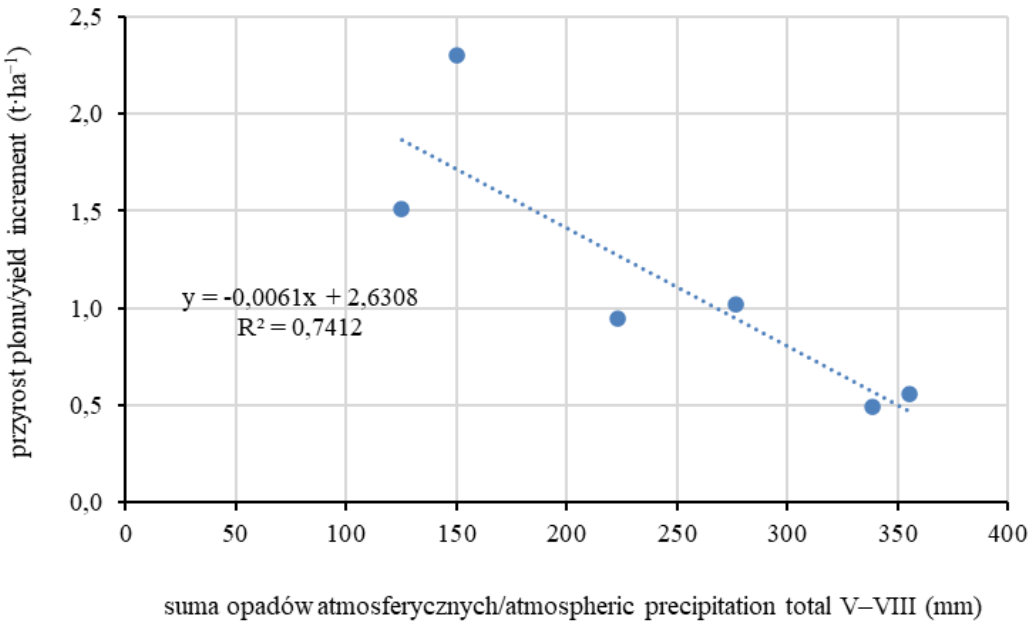

**Rysunek 6.** Przyrosty plonów ziarna jęczmienia jarego pod wpływem deszczowania (t·ha$^{-1}$) w zależności od sumy opadów atmosferycznych w maju i w czerwcu (mm)
***Figure 6.*** *Yield increments of spring barley grain under the influence of sprinkler irrigation (t·ha$^{-1}$) depending on the totals of precipitation in May and June (mm).*



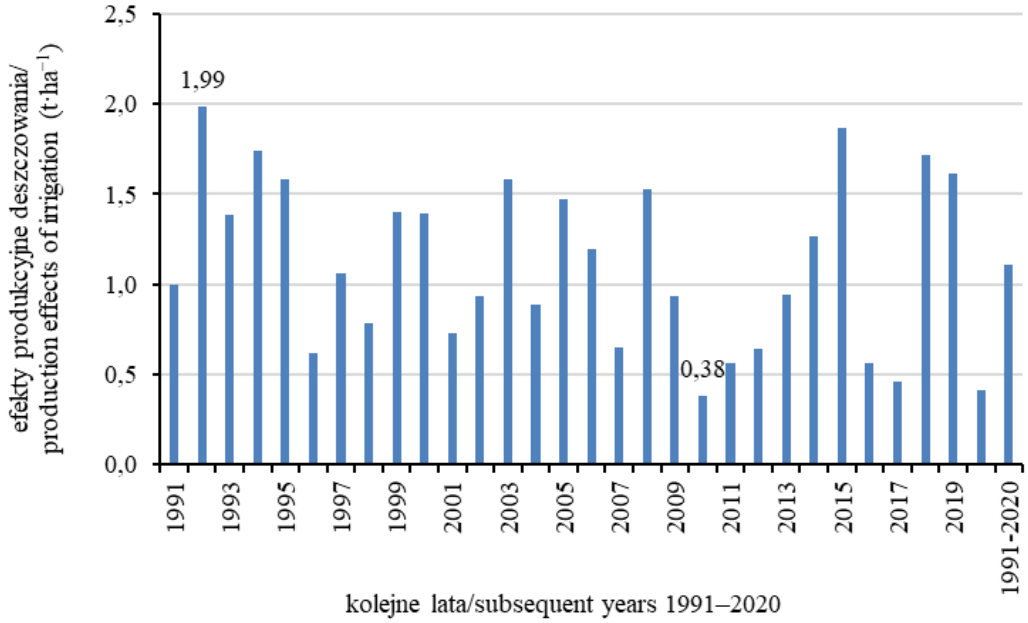

**Rysunek 7.** Spodziewane efekty produkcyjne deszczowania jęczmienia jarego (t·ha$^{-1}$) na glebie lekkiej w rejonie Bydgoszczy w latach 1991–2020
***Figure 7.*** *Expected production effects of irrigation of spring barley (t·ha$^{-1}$) on light soil in the area of Bydgoszcz in 1991–2020.*

## Soja

Doświadczenia z deszczowaniem soi odmian ‘Aldana’ i ‘Merlin’ wykonywano w sezonach wegetacji 2013–2018. Średnie dla badanych odmian przyrosty plonów nasion soi pod wpływem deszczowania uzyskane w sześciu jednorocznych doświadczeniach polowych zależały istotnie od sumy opadów atmosferycznych w okresie maj–sierpień (rys. 8). Na podstawie równania regresji przedstawiono prognozę efektów produkcyjnych deszczowania soi w latach 1991–2020 (rys. 9). Wynika z niej, że przeciętne zwyżki plonów nasion soi wynoszą w warunkach glebowo-klimatycznych doświadczenia polowego (gleba lekka na zwięzłym podłożu, rejon Bydgoszczy) 1,11 t·ha$^{-1}$, a w posusznych sezonach wegetacji soi (1992, 1994, 2015, 2018 rok) wynoszą 1,71–1,99 t·ha$^{-1}$, zależnie od ilości opadów atmosferycznych.



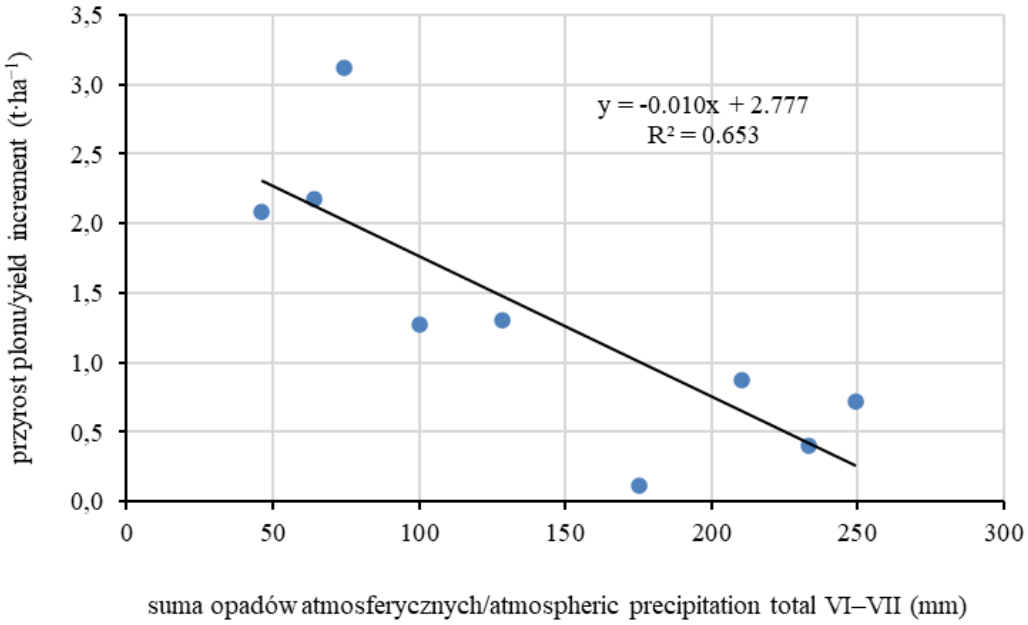

**Rysunek 8.** Przyrosty plonów nasion soi pod wpływem deszczowania (t·ha$^{-1}$) w zależności od sumy opadów atmosferycznych w okresie maj–sierpień (mm)
***Figure 8.*** *Yield increments in soybean seed yields under the influence of sprinkler irrigation (t·ha$^{-1}$) depending on the totals of precipitation in May–August (mm).*



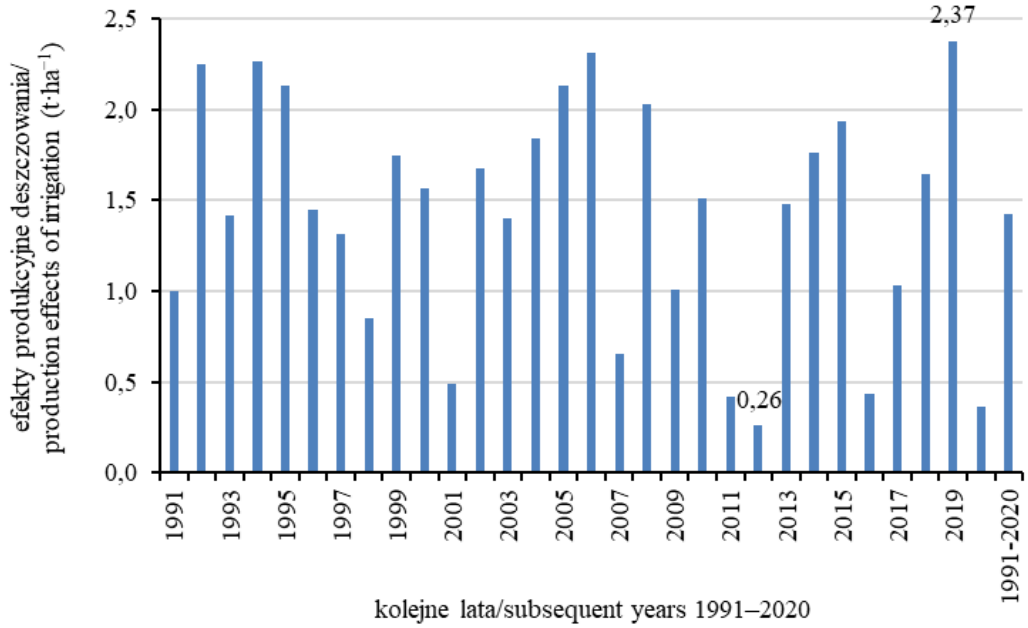

**Rysunek 9.** Spodziewane efekty produkcyjne deszczowania soi (t·ha$^{-1}$) na glebie lekkiej w rejonie Bydgoszczy w latach 1991–2020
***Figure 9.*** *Expected production effects of irrigation of soybean (t·ha$^{-1}$) on light soil in the area of Bydgoszcz in 1991–2020.*

## Bobik

Doświadczenia z deszczowaniem bobiku prowadzono w latach 2005–2014. Uprawiano następujące odmiany 'Bobas' (2005–2009), 'Olga' (2010–2012) oraz 'Amulet' (2013–2014). Zwyżki plonów nasion bobiku pod wpływem deszczowania uzyskane w jednorocznych doświadczeniach polowych zależały istotnie od sumy opadów atmosferycznych w okresie czerwca i lipca (rys. 10). Na podstawie równania regresji przedstawiono spodziewane efekty produkcyjne deszczowania bobiku w latach 1991–2020 (rys. 11). Przeciętne zwyżki plonów nasion bobiku wynoszą w warunkach glebowo-klimatycznych doświadczenia polowego (gleba lekka na zwięzłym podłożu, rejon Bydgoszczy) 1,42 t·ha$^{-1}$, a w sezonach wegetacji soi cechujących się posusznym okresem VI–VII (1992, 1994, 1995, 2005, 2006 i 2019) 2015, 2018 rok) wynoszą 2,13–2,37 t·ha$^{-1}$, zależnie od ilości opadów atmosferycznych.




**Rysunek 10.** Przyrosty plonów nasion bobiku pod wpływem deszczowania (t·ha$^{-1}$) w zależności od sumy opadów atmosferycznych w okresie czerwiec–lipiec (mm)
***Figure 10.*** *Yield increments in faba bean seed yields under the influence of sprinkler irrigation (t·ha$^{-1}$) depending on the totals of precipitation in June–July (mm).*




**Rysunek 11.** Spodziewane efekty produkcyjne deszczowania bobiku (t·ha$^{-1}$) na glebie lekkiej w rejonie Bydgoszczy w latach 1991–2020
***Figure 11.*** *Expected production effects of irrigation (t·ha$^{-1}$) on light soil in the area of Bydgoszcz in 1991–2020.*

## DYSKUSJA

Zależność przyrostów plonów pod wpływem deszczowania od wysokości opadów atmosferycznych w warunkach klimatycznych Polski wydaje się oczywista. Deszczowanie w Polsce ma bowiem charakter zabiegu interwencyjnego, uzupełniającego braki opadów w czasie wegetacji roślin. Jednak wyrażenie ilościowe tej zależności wymaga wieloletnich eksperymentów polowych, prowadzonych w podobnych uwarunkowaniach agrotechnicznych. Udane próby uzależnienia efektów deszczowania oraz ilości opadów podejmowali m.in. Grabarczyk (1987) oraz Dzieżyc i Nowak (1993), jednak uzyskane wyniki były adekwatne do poziomu plonowania roślin w latach 70-tych i 80-tych ubiegłego stulecia. Badania własne prezentują przyrosty plonów pod wpływem deszczowania w warunkach aktualnego poziomu plonów. Są one wyższe od podawanych w literaturze w podobnych uwarunkowaniach glebowych (Karczmarczyk i Nowak 2006). Zaprezentowane liniowe zależności typu pogoda-plon są istotne. Spośród wielu prowadzonych uzależnień od sumy opadów w różnych okresach, w pracy podano zależności, które cechowały się najwyższymi współczynnikami determinacji. Nowością jest

przedstawienie spodziewanych efektów produkcyjnych deszczowania roślin na glebie lekkiej na zwięzłym podłożu w warunkach opadowych rejonu Bydgoszczy, w ujęciu wieloletnim, obejmującym zróżnicowane pluwiograficznie sezony wegetacji.

Uzyskane w badaniach przeciętne efekty produkcyjne deszczowania roślin są trudne do osiągnięcia za pomocą stosowania innych zabiegów agrotechnicznych, melioracyjnych bądź hodowlanych. Wskazują one na duże możliwości powiększenia produkcji roślinnej w centralnej Polsce pod warunkiem optymalizacji czynnika wodnego. W świetle uzyskanych wyników wprowadzenie deszczowania do technologii produkcji roślin jest zabiegiem bardzo celowym. Jednak w praktyce rolniczej upowszechnienie tego zabiegu w warunkach klimatycznych centralnej Polski zależeć będzie przede wszystkim od efektywności ekonomicznej przedsięwzięcia, kształtowanej przez cenę płodów rolnych oraz od uwarunkowań infrastrukturalnych, w tym głównie dostępności wody do deszczowania. Jak podają Śliwiński i Cieśla (2016) nawadnianie upraw, jest największym konsumentem wody w skali świata, odpowiadając za 70% światowych poborów wody. Nadmierna eksploatacja zasobów zwiększa prawdopodobieństwo poważnych braków wody w okresach suchych, a także pogarsza jakość wody. W warunkach klimatycznych Polski problem ten aktualnie nie występuje na szerszą skalę ze względu na niewielką powierzchnię upraw nawadnianych. Jednak zwiększenie tej powierzchni w przyszłości powinno być poprzedzone wszechstronną oceną możliwości zapewnienia źródeł wody do nawadniania roślin bez zmniejszania jej zasobów i wywierania negatywnego wpływu na ekosystemy.

## WNIOSKI

1. Na podstawie wyników wieloletnich doświadczeń polowych wykazano istotne zależności miedzy zwyżkami plonów roślin pod wpływem deszczowania a sumami opadów w okresach wegetacji tych roślin, zwłaszcza w fazach wzmożonego zapotrzebowania na wodę.
2. Przeciętne efekty produkcyjne deszczowania wybranych upraw, które zaprezentowano w pracy oraz ich zmienność w wieloleciu, mogą stanowić podstawę oceny celowości deszczowania roślin w porównywalnych warunkach glebowych i opadowych.
3. Prognozowanie efektów produkcyjnych nawadniania roślin uprawnych powinno stać się podstawą oceny efektywności ekonomicznej tego zabiegu.

## LITERATURA


1. Dudek, S., Kuśmierek-Tomaszewska, R., Żarski, J., Szterk, P. (2013). *Ocena potrzeb i efektów deszczowania rzepaku ozimego w rejonie Bydgoszczy*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich,1/II, 51–62.
2. Dudek, S., Kuśmierek-Tomaszewska, R., Żarski, J. (2018). *Forecasting production effects of irrigated faba bean (Vicia faba var. minor) depending on drought levels*. Research for Rural Development, 2, 77-82, http://doi.org/10.22616/rrd.24.2018.054.
3. Drupka, S. (1976). *Techniczna i rolnicza eksploatacja deszczowni*. PWRiL Warszawa.
4. Dzieżyc, J., Nowak, L. (1993). *Deszczowanie*. [W:] Czynniki plonotwórcze — plonowanie roślin. Red. J. Dzieżyc. PWN Warszawa-Wrocław, 329–352.
5. Grabarczyk, S. (1987). *Efekty, potrzeby i możliwości nawodnień deszczownianych w różnych regionach kraju*. Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych, 314, 49–64.
6. GUS 2023. https://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/podgrup/temat, [dostęp online: 16.08.2023]
7. Kropkowski M. (2023). *Ocena potrzeb i efektów nawadniania soi na obszarze deficytowym w wodę*. Rozprawa doktorska, Wydawnictwa Uczelniane, Politechnika Bydgoska.
8. Łabedzki, L. (2009). *Przewidywane zmiany klimatyczne a rozwój nawodnień w Polsce*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3, 2009, 7–18.
9. Marszelewski, M., Piasecki, A. (2021). *Legal and water management policy during climate warming in Poland. Bulletin of Geography*. Socio-economic Series, 54, 63–75, http://doi.org/10.2478/bog-2021-0033.
10. Rzekanowski, C. (2023). *Źródła wody do nawodnień i możliwości ich pozyskiwania – głos w dyskusji*. Materiały konferencyjne XXV Sympozjum Nawadniania Roślin, 12–14.06.2023 Bydgoszcz-Fojutowo, 27–28.
11. Śliwiński, J., Cieśla, M. (2016). *Zasoby wodne na świecie a produkcja żywności*. Przegląd Hodowlany, 6, 1–4.
12. 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, https://doi.org/10.26114/pja.iung.424.2020.41.05

13. 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.
14. Żarski, J., Kuśmierek-Tomaszewska, R., Dudek, S. (2019). *Needs and Effects of Use Sprinkler Irrigation Systems in Crops Production in Central Poland on the Example of Spring Malting Barley (Hordeum vulgare L.)*. [W:] Infrastructure and Environment. Red. A. Krakowiak-Bal, M, Vaverkova, Springer, Cham, 46–52, https://doi.org/10.1007/978-3-030-16542-0_7
15. Żarski, J., Kuśmierek-Tomaszewska, R., Dudek, S. (2020). I*mpact of irrigation and fertigation on the yield and quality of sugar beet (Beta vulgaris L.) in a moderate climate*. Agronomy, 10(2), 166, https://doi.org/10.3390/agronomy10020166

Autor do korespondencji:: dr inż. Renata Kuśmierek-Tomaszewska
ORCID: 0000-0002-2333-376X
email: rkusmier@pbs.edu.pl

Prof. dr hab inż. Jacek Żarski
ORCID: 0000-0002-5098-4242

dr inż. Stanisław Dudek
ORCID: 0000-0001-9079-1528

Politechnika Bydgoska im. J. J. Śniadeckich
Pracownia Melioracji i Agrometeorologii
Al. Prof. S. Kaliskiego 7
85-796 Bydgoszcz

Otrzymano: 04.09.2023 r.
Zwrócono po recenzji: 16.10.2023 r.
Zaakceptowano: 17.10.2023 r.