

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

# **Wybrane zagadnienia z zakresu rolnictwa**

**Tom 5**

**Środowisko - Roślina - Zwierzę - Produkt**

**WUP**

Wybrane zagadnienia  
z zakresu rolnictwa

Tom 5

Środowisko – Roślina – Zwierzę – Produkt

# Wybrane zagadnienia z zakresu rolnictwa

Tom 5

pod redakcją  
Marka Babicza  
Adama Gawryluka

Lublin 2025

Recenzenci

dr hab. Iwona Mystkowska, prof. uczelni  
dr hab. inż. Sylwester Samborski, prof. uczelni

Redaktor prowadzący  
Magdalena Marcewicz

Redakcja językowa  
Aneta Panasewicz

Projekt okładki  
Jacek Pałyszka



Ten utwór jest dostępny na licencji  
[Creative Commons Uznanie autorstwa – Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowa](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

ISBN 978-83-7259-487-7 on-line  
<https://doi.org/10.24326/mon.2025.10>



Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie  
ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin  
<https://up.lublin.pl/nauka/wydawnictwo/>  
2,7 ark. wyd.

## Spis treści

### **Paweł Krasnodębski, Marek Niewęglowski, Piotr Krasnodębski**

|                                                   |   |
|---------------------------------------------------|---|
| Innowacyjne rozwiązania w uprawie kukurydzy ..... | 6 |
| Innovative solutions in corn cultivation          |   |

### **Izabela Stasiewicz , Krzysztof Kapela, Marek Niewęglowski**

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Dobór mocy i opłacalność inwestycji fotowoltaicznej w wybranym gospodarstwie rolnym ..... | 15 |
| Power selection and profitability of photovoltaic investment in a selected farm           |    |

### **Mateusz Syrek**

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Wpływ warunków przyrodniczych na produktywność pastwiska sylwopastoralnego ..... | 27 |
| The impact of natural conditions on productivity sylvopastoral pasture           |    |

### **Paulina Wac, Nikola Pietruszka, Michał Możejko, Justyna Bohacz**

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Wpływ biopreparatu zawierającego bakterie z rodzaju <i>Bacillus</i> na mikrobiologiczną<br>jakość gleby .....             | 36 |
| Effect of a biopreparation containing bacteria of the genus <i>Bacillus</i> on the microbiological<br>quality of the soil |    |

## Innowacyjne rozwiązania w uprawie kukurydzy

Innovative solutions in corn cultivation

### Wstęp

W dzisiejszych czasach wszystkie branże, w tym rolnictwo, muszą mierzyć się z rosnącymi kosztami pracy i produkcji oraz coraz większymi wymaganiami dotyczącymi ochrony środowiska. Polskie rolnictwo stoi przed trudnym zadaniem. Musi spełniać wysokie standardy związane z ochroną przyrody, dobrostanem zwierząt i jakością żywności, a jednocześnie konkurować z dobrze rozwiniętym rolnictwem z Europy Zachodniej [Baum i in. 2012].

Kukurydza zwyczajna (*Zea mays* L.) jest rośliną jednoroczną z rodziny wiechlino-watych [Wirkowska i in. 2008]. To jedna z najważniejszych roślin uprawnych w świecie. Głównymi producentami kukurydzy są Stany Zjednoczone, Brazylia i Chiny. Aktualna produkcja na świecie przekroczyła 1,2 mld ton. Kukurydza w strukturze zasiewów w krajach Unii Europejskiej stanowi 11%, natomiast w Polsce uprawiana jest na powierzchni około 1,8 mln ha, z wielkością zbiorów prawie 8,9 mln ton [Łopaciuk 2024].

Ze względu na coraz bardziej wszechstronną przydatność tej rośliny nie tylko na paszę, ale także jako substrat do produkcji bioetanolu, ziarno do bezpośredniego spalania czy też zielonki do produkcji biogazu, staje się ona atrakcyjną rośliną do uprawy na glebach średnich i dobrych [Spurtać i in. 2008]. Kukurydza wykorzystywana jest również na cele energetyczne, np. jako wsad do biogazowni [Szlachta i Tupieka 2013, Podstawka i Gołasa 2014].

Rolnictwo stara się osiągać jak największe plony o dobrej jakości, jednocześnie zmniejszając koszty i nakład pracy. Obecne warunki zmuszają do korzystania z nowoczesnych technologii i systemów, które pozwalają na bardziej efektywne wykorzystanie zasobów. Zmiany w rolnictwie pokazują, że gospodarstwa muszą się dostosowywać do nowych wymagań i szukać sposobów na rozwój. Kluczowe jest połączenie celów produkcyjnych, ekologicznych i społecznych oraz dostosowanie się do zmieniających się warunków gospodarczych. Jednym z innowacyjnych rozwiązań może być rolnictwo precyzyjne, czyli wykorzystanie technologii komputerowych do zarządzania produkcją. Coraz więcej rolników interesuje się taką możliwością [Baum i in. 2012].

Laskowska [2017] twierdzi, że wraz z szybkim rozwojem technologii informatyka odgrywa coraz większą rolę w rolnictwie. Gospodarowanie wspomagane komputerowo polega na zbieraniu danych o różnicach w plonach na różnych częściach pola. Na podstawie tych danych w odpowiednich miejscach stosuje się nawozy i środki ochrony roślin

---

<sup>1</sup> Uniwersytet w Siedlcach, Wydział Nauk Rolniczych, Studenckie Koło Naukowe Agrobioinżynierii, pawelkrasnodebski03@gmail.com

<sup>2</sup> Uniwersytet w Siedlcach, Wydział Nauk Rolniczych

w optymalnych dawkach. Choć zakup takich technologii jest kosztowny, z czasem ich ceny będą spadać.

Celem komputerowego wspomagania produkcji jest obniżenie kosztów produkcji i pracy, wzrost plonów, polepszenie ich jakości oraz ograniczenie negatywnego wpływu technologii uprawy na środowisko. Takie rolnictwo pomaga w zrównoważonej produkcji rolnej, zmniejszając zużycie nawozów i środków ochrony roślin, co jest korzystne zarówno dla rolników, jak i dla środowiska [Lorencowicz 2018].

Zwiększenie rozwoju systemów elektronicznych spowodowało, że zaczęły być one wykorzystywane w rolnictwie. Dzięki temu poprawiła się technika pracy ciągników i maszyn rolniczych. Nowoczesne technologie, wykorzystywane w tzw. rolnictwie precyzyjnym, pozwalają na dokładne badanie każdego fragmentu pola. Podstawą rolnictwa precyzyjnego są dokładne pomiary, takie jak badanie właściwości gleby, poziomu zachwaszczenia, obecności chorób czy szkodników. Takie pomiary można wykonywać dzięki systemowi satelitów Ziemi, który tworzy Globalny System Pozycjonowania (*Global Positioning System*, GPS) [Zbytek 2002]. W ostatnich latach nastąpił duży postęp w nawigacji satelitarnej, precyzyjnym dawkowaniu nawozów i tworzeniu mapowania plonów [Doruchowski 2005].

Zastosowanie systemów informacji geograficznej (GIS), nawigacji satelitarnej i zdjęć lotniczych w zarządzaniu gospodarstwem rolniczym staje się coraz bardziej popularne. Wpływ na to mają m.in. malejące ceny sprzętu oraz oprogramowania, lepsze możliwości komputerów i dostęp do systemów umożliwiających pozycjonowanie satelitarne. Obecnie wielka rewolucja w pozyskiwaniu informacji o stanie upraw w rolnictwie precyzyjnym dokonała się dzięki wprowadzeniu dronów. Dzięki multispektralnym kamerom zamontowanym na dronach możliwe jest dokładne monitorowanie upraw z powietrza [Berner i Chojnacki 2016, Mazur i Chojnacki 2017].

Rolnictwo precyzyjne to jeden z najważniejszych nowoczesnych systemów rolniczych, który rozwija się bardzo dynamicznie w ostatnich latach. Jest to szerokie pojęcie, które obejmuje różne technologie, takie jak systemy nawożenia, odchwaszczania, nawadniania, żywienia zwierząt czy doradztwa rolniczego. Wszystkie te systemy mają na celu poprawę efektywności i dokładności pracy w rolnictwie [Walaszczyk 2012].

W literaturze można spotkać różne podejścia do rolnictwa precyzyjnego. Munack [2004] definiuje je jako „prowadzenie produkcji rolniczej w sposób zapewniający wykonywanie odpowiednich zabiegów w odpowiednim czasie, z zastosowaniem odpowiedniej i możliwie minimalnej ilości środków produkcji”. Zwiększa to efektywność ekonomiczną i produkcyjną, a jednocześnie obniża obciążenia środowiska naturalnego [Munack 2004].

Baum i in. [2012] pod pojęciem rolnictwa precyzyjnego rozumieją system zarządzania gospodarstwem rolnym, który dostosowuje wszystkie elementy upraw do zmieniających się warunków na różnych częściach pola. Warunki te mogą obejmować stan rozwoju roślin oraz właściwości gleby, które różnią się w czasie i przestrzeni. Aby to osiągnąć, wykorzystywane są nowoczesne technologie nawigacyjne i informatyczne, które zbierają i przetwarzają niezbędne dane.

W rolnictwie precyzyjnym kluczowe jest obniżenie kosztów produkcji, zwiększenie efektywności ekonomicznej oraz ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko. Ważnymi elementami tego systemu są m.in. siew ze zmienną gęstością oraz precyzyjne stosowanie nawozów i środków ochrony roślin. Te działania wykonywane są dokładnie tam, gdzie są potrzebne, z dokładnością do kilku centymetrów. Aby to osiągnąć, stosuje się maszyny rolnicze wyposażone w GPS oraz komputer, które umożliwiają precyzyjne kontrolowanie wszystkich procesów [Hołownicki 2008].



Walaszczyk [2012] zauważa, że system rolnictwa precyzyjnego składa się z kilku ważnych elementów, takich jak:

- oprogramowanie komputerowe – służy do pozyskiwania, przetwarzania i analizy danych, które pomagają w zarządzaniu gospodarstwem,
- precyzyjne czujniki polowe – zbierają dane o lokalnej zmienności gleby i warunków upraw, co pozwala na ich optymalizację i poprawę efektywności produkcji roślinnej,
- monitory plonu – zbierają informacje na temat jakości i zmienności plonów w czasie rzeczywistym,
- specjalistyczny sprzęt na maszynach rolniczych – obejmuje takie technologie, jak GPS, systemy nawigacji równoległej, zmienne dawkowanie nawozów, precyzyjna kontrola oprysku oraz systemy autonomicznego sterowania ciągnikiem z kompensacją nachylenia terenu,
- wiedza – niezbędna do prawidłowego wykorzystania technologii oraz analizy zebranych danych, umożliwiającą skuteczne zarządzanie gospodarstwem.

Doruchowski [2008] twierdzi, że ochrona roślin z wykorzystaniem technologii rolnictwa precyzyjnego jest jednym z obszarów, w którym korzyści szybko równoważą poniesione koszty inwestycji w te technologie. W ramach ochrony roślin w rolnictwie precyzyjnym szczególne znaczenie mają:

- systemy wspomaganie decyzji (decision support system, DSS) – służą do prognozowania zagrożeń spowodowanych przez agrofagi (szkodniki, choroby roślin), co pomaga w podejmowaniu trafnych decyzji dotyczących zabiegów ochronnych,
- systemy charakteryzacji, detekcji i identyfikacji obiektów – umożliwiają precyzyjne określenie, gdzie i kiedy należy przeprowadzić zabiegi ochronne,
- systemy nawigacji – wspierają sterowanie maszynami wykonującymi zabiegi ochrony roślin, zapewniając ich precyzyjne działanie.

Wszystkie te systemy, dzięki wykorzystaniu pomiarów i technologii informatycznych, mogą także służyć do monitorowania procesów technologicznych, umożliwiając śledzenie i odtwarzanie poszczególnych etapów produkcji. Dzięki temu można uzyskać lepsze wyniki w zakresie ochrony roślin oraz poprawić efektywność całego procesu produkcji rolniczej.

Wdrożenie technik rolnictwa precyzyjnego to same korzyści – zarówno dla rolnika, jak i dla przyrody. Dzięki nim rolnik może lepiej wykorzystać swoje grunty, uzyskać większe zbiory i poprawić ich jakość [Krasnodębski i Krasnodębski 2024].

Celem pracy była ocena zastosowanych rozwiązań innowacyjnych w uprawie kukurydzy, obejmujących gospodarowanie wspomagane komputerowo w indywidualnym gospodarstwie rolnym.

## **Charakterystyka gospodarstwa**

Analizowane w pracy gospodarstwo położone jest w województwie mazowieckim, w powiecie sokołowskim. Powierzchnia gruntów rolnych gospodarstwa stanowiła 403,51 ha, w tym 83,3 ha były to grunty dzierżawione (tab. 1). Analizując wielkość gospodarstwa w regionie wschodniej części województwa mazowieckiego, gospodarstwo to należy do dużych. Średnia powierzchnia gospodarstwa w województwie mazowieckim

w 2024 r. wynosiła 9,05 ha [<https://www.gov.pl/web/arimr/srednia-powierzchnia-gruntow-rolnych-w-gospodarstwie-w-2024-roku>].

Tabela 1. Klasy bonitacyjne gruntów w analizowanym gospodarstwie w 2024 r.

| Klasy bonitacyjne gruntów rolnych | Powierzchnia (ha) | Udział w strukturze (%) |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------------|
| III                               | 91,32             | 22,6                    |
| IV (a i b)                        | 257,15            | 63,7                    |
| V                                 | 42,74             | 10,6                    |
| VI                                | 12,30             | 3,1                     |
| Razem                             | 403,51            | 100,0                   |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z gospodarstwa

Grunty w gospodarstwie to w większości grunty klasy IVa i b – 63,7%. Duży odsetek stanowiły też grunty klasy III – 22,6% (tab. 1). Gospodarstwo nastawione było na produkcję roślinną. W gospodarstwie w 2024 r. uprawiane były różne rośliny (tab. 2).

Tabela 2. Produkcja roślinna w analizowanym gospodarstwie w 2024 r.

| Wyszczególnienie    | Powierzchnia uprawy (ha) | Udział w strukturze (%) |
|---------------------|--------------------------|-------------------------|
| Kukurydza na ziarno | 163,52                   | 40,6                    |
| Pszenica            | 170,49                   | 42,2                    |
| Rzepak              | 69,50                    | 17,2                    |
| Razem               | 403,51                   | 100,0                   |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z gospodarstwa

W 2024 r. największy udział w strukturze produkcji roślinnej w analizowanym gospodarstwie miała uprawa pszenicy – ponad 42%. Kolejną rośliną była kukurydza na ziarno – 40,6% oraz rzepak – 17,2 (tab. 2).

Gospodarstwo jest bardzo dobrze wyposażone w sprzęt rolniczy. Właściciel korzysta z 8 ciągników rolniczych: John Deere 8370R, John Deere 7820, John Deere 6830 – 2 sztuki, John Deere 6620 – 2 sztuki, New Holland TM125, Zetor Proxima 6441. Poza ciągnikami gospodarstwo jest wyposażone w: kombajn zbożowy New Holland CX, 2 przyczepy skorupowe 14 t, 2 przyczepy 10 t, rozsiewacz Amazone ZA-V 3200, opryskiwacz Hardi Commander 4400, siewnik zbożowy Amazone – 4 m, siewnik do kukurydzy Monosem – 8-rzędowy, brona talerzowa Horsch Joker RT, kultywator bezorkowy VaderstadCultus, 2 pługi Kverneland, rozsiewacz wapna RCW 5500 oraz agregat przed-siewny Kongskilde – 6,5 m i 8,7 m.

Według właściciela wyposażenie gospodarstwa w budynki gospodarcze jest optymalne. Znajdują się tu: stodoła 32 × 12 m, stodoła 16 × 40 m, wiata 24 × 16 m, obora 77 × 22,5 m oraz garaż 11 × 10 m. Obora nie jest używana do produkcji zwierzęcej. Wykorzystywana jest do przechowywania maszyn rolniczych. W gospodarstwie są też 4 silosy zbożowe: 130 t, 160 t oraz 2 sztuki po 250 t.

Zaopatrzenie gospodarstwa w sprzęt rolniczy, budynki gospodarcze oraz inne wyposażenie jest optymalne do wielkości gospodarstwa i jego potrzeb.

## Rozwiązania rolnictwa precyzyjnego w uprawie kukurydzy

W analizowanym gospodarstwie rolnik korzystał z nowoczesnego systemu prowadzenia maszyn rolniczych firmy John Deere. Używał systemu RTK, który działa bardzo dokładnie – uzyskuje precyzyjny sygnał w czasie krótszym niż minuta. Wystarczy raz zapisać granice pola, a system poprowadzi maszynę dokładnie po wyznaczonej trasie. Dzięki temu praca jest szybsza, wygodniejsza i bardziej wydajna, niezależnie od warunków w polu. System był zamontowany na trzech ciągnikach John Deere. Dwa z nich miały system AutoTrac, który pomaga prowadzić maszynę w linii prostej. Trzeci ciągnik miał dodatkowo system automatycznego zawracania. To nowoczesne rozwiązanie, które samodzielnie wykonuje nawroty na końcu pola. System sam kieruje ciągnikiem, zmienia prędkość, włącza i wyłącza wał odbioru mocy oraz podnosi lub opuszcza maszyny rolnicze w odpowiednim momencie. Dzięki temu każdy operator może wykonać idealny nawrót, niezależnie od ukształtowania terenu czy warunków pracy. Dzięki systemowi automatycznego zawracania zyskujemy [Pawlicki i Feder 2010]:

- mniej zakładek i luk na uwrociach,
- niższe wydatki na nawozy, środki chemiczne i paliwo,
- minimalne ugniatanie gleby na uwrociach,
- większy komfort pracy i mniejszy stres operatora.

Na rycinie 1 przedstawiono traktory z urządzeniami firmy John Deere z systemem AutoTrac, wykorzystywane do prowadzenia równoległego.



Ryc. 1. Ciągniki rolnicze John Deere 8370R i John Deere 7820 (fot. P. Krasnodębski)

W analizowanym gospodarstwie stosuje się także inne rozwiązania rolnictwa precyzyjnego. Należą do nich systemy automatycznego sterowania sekcjami maszyn. Działają one w rozsiewaczu nawozów firmy Amazone oraz opryskiwaczu firmy Hardi (z systemem Trimble). Systemy te automatycznie włączają i wyłączają poszczególne części maszyny w odpowiednich miejscach pola. Dzięki temu nie dochodzi do nakładania się

oprysków lub nawozów ani do omijania niektórych miejsc. Wszystko działa bardzo dokładnie. Systemy te współpracują z urządzeniami firmy John Deere oraz z maszynami innych producentów, które mają odpowiednie sterowniki (ISOBUS z certyfikatem AEF). Dzięki tym technologiom rolnik może stosować dokładnie taką ilość nawozów, nasion i środków ochrony roślin, jaka jest potrzebna. To pozwala oszczędzać pieniądze, zwiększa wydajność, chroni plony i zmniejsza negatywny wpływ na środowisko. Z uwagi na to, że nie stosuje się zbyt dużej ilości oprysków ani nasion, rośliny mają lepsze warunki do wzrostu [Krasnodębski i Krasnodębski 2024].

Na rycinie 2 zaprezentowano ciągnik z siewnikiem do kukurydzy wyposażony w system automatycznej kontroli sekcji. Natomiast rycina 3 przedstawia ekran do obsługi siewnika punktowego do kukurydzy w systemie ISOBUS oraz nawigacji zamontowanej w ciągniku John Deere.



Ryc. 2. Ciągnik z siewnikiem do kukurydzy z systemem automatycznej kontroli sekcji (fot. P. Krasnodębski)



Ryc. 3. Ekran do obsługi siewnika punktowego w systemie ISOBUS oraz nawigacji (fot. P. Krasnodębski)

W tabeli 3 przedstawiono korzyści, jakie można uzyskać, stosując rozwiązania rolnictwa precyzyjnego w analizowanym gospodarstwie. Odniesione korzyści zostały przeliczone na powierzchnie 100 ha uprawy.

Tabela 3. Korzyści stosowania systemu rolnictwa precyzyjnego w gospodarstwie w 2024 r. (na 100 ha)

| Wyszczególnienie | Oszczędności oferowane przez system                             | Uzyskana korzyść (w zł)                                                                  |
|------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Siew kukurydzy   | mniejsze zużycie nasion, paliwa, czasu oraz elementów roboczych | zmniejszenie materiału siewnego: 6000 zł;<br>paliwo: 340 zł;<br>elementy robocze: 410 zł |
| Siew nawozów     | mniejsze zużycie nawozu, mniejsze zużycie paliwa i czasu        | zmniejszenie ilości nawozów: 3000 zł;<br>paliwo: 90 zł                                   |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z gospodarstwa

Według danych firmy John Deere, używanie systemu AutoTrac w rolnictwie precyzyjnym pozwala zmniejszyć koszty o około 8% i zwiększyć wydajność pracy o około 14% [Różycki i Żmich 2018]. Z danych zawartych w tabeli 3 wynika, że oszczędności, które może uzyskać właściciel w uprawie kukurydzy, wynoszą ok. 11 000 zł na 100 ha uprawy kukurydzy.

## Podsumowanie

W analizowanym gospodarstwie rolnik korzystał z nowoczesnego systemu prowadzenia maszyn John Deere AutoTrac z bardzo dokładnym sygnałem RTK. Dzięki temu maszyny poruszały się równo i dokładnie, bez nakładania się przejazdów czy omijania fragmentów pola. Pozwalało to oszczędzać nasiona, nawozy i środki ochrony roślin, a jednocześnie zwiększało wydajność pracy. System ułatwiał też pracę operatorowi i poprawiał jej jakość. Dodatkowo rolnik używał systemu automatycznego zawracania, który sam wykonywał nawroty na końcu pola. To zwiększało tempo pracy, ograniczało ugniatanie gleby i poprawiało wygodę pracy. W gospodarstwie działała też automatyczna kontrola sekcji w rozsiewaczu nawozów, siewniku do kukurydzy i opryskiwaczu. System ten automatycznie włącza i wyłącza poszczególne części maszyny, co zapobiega podwójnym zabiegom i zmniejsza koszty. W sezonie agrotechnicznym 2024 oszczędności dzięki tym rozwiązaniom wyniosły ok. 11 000 zł na każde 100 hektarów upraw.

## Bibliografia

- Baum R., Wajszczuk K., Wawrzynowicz J., 2012. Miejsce i rola rolnictwa precyzyjnego w koncepcji zrównoważonego rozwoju gospodarstw rolnych. *Ekon. Śr.* 1(41), 71–83.
- Berner B., Chojnacki J., 2016. Wykorzystanie dronów w rolnictwie precyzyjnym. *Tech. Rol. Ogrod. Leś.* 3, 19–21.
- Doruchowski G., 2005. Elementy rolnictwa precyzyjnego w ochronie roślin. *Inż. Rol.* 9(6), 131–139.
- Doruchowski G., 2008. Postęp i nowe koncepcje w rolnictwie precyzyjnym. *Inż. Rol.* 9(107), 19–31.
- Holownicki R., 2008. Przed agrotechniką stoją nowe zadania. *Inż. Rol.* 4(102), 13–24, <https://www.gov.pl/web/arimr/srednia-powierzchnia-gruntow-rolnych-w-gospodarstwie-w-2024-roku> [dostęp: 14.03.2025].
- Krasnodębski P., Krasnodębski P., 2024. Rolnictwo precyzyjne w praktyce gospodarstwa rolnego. W: *Problematyka nauk przyrodniczych i technicznych*, t. 7. Monografia. XXVIII Międzynarodowa Konferencja Studenckich Kół Naukowych. Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, 25–26 kwietnia 2024 r., 103–114.
- Laskowska P.J., 2017. Informatyka w rolnictwie, czyli rolnictwo precyzyjne. Materiały pokonferencyjne III Ogólnopolskiej Konferencji Interdyscyplinarnej „Współczesne zastosowania informatyki”, 43.
- Lorencowicz E., 2018. Cyfrowe rolnictwo – cyfrowe zarządzanie. *Rocz. Nauk. Stow. Ekon. Rol. Agrobiz.* 20(4).
- Łopaciuk W. (red.), 2024. Rynek zbóż. Stan i perspektywy. Nr 67. *Analizy Rynkowe. IE-RiGŻ PIB*, 17–19.
- Mazur P., Chojnacki J., 2017. Wykorzystanie dronów do teledetekcji multispektralnej w rolnictwie precyzyjnym. *Tech. Rol. Ogrod. Leś.* 1, 25–28.
- Munack A., 2004. Rolnictwo w trzecim tysiącleciu – bieżące trendy i nowe wyzwania w inżynierii rolniczej. *Postęp. Nauk Rol.* (3), 3–12.
- Pawlicki T., Feder S., 2010. Złoci medaliści międzynarodowych targów mechanizacji rolnictwa POLAGRA-PREMIERY 2010. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 55(2), 66–77.
- Podstawka M., Gołasa P., 2014. Możliwości finansowania biogazowni w gospodarstwach rolnych. *Roczniki Naukowe SERiA*, 16(2), 229–233.
- Różycki R., Żmich K., 2018. Wykorzystanie nowoczesnych technologii w rolnictwie precyzyjnym. W: U. Motowidlak, D. Wronkowski, A. Reńda (red.), *Różne oblicza logistyki. Zbiór prac studentów*. Wyd. UŁ, Łódź, 97–109, <https://doi.org/10.18778/8142-085-3.09>

- Spurtacz S., Pudelko J., Majchrzak L., 2008. Opłacalność uprawy kukurydzy na ziarno w warunkach produkcyjnych w latach 2005–2007. *Acta Sci. Pol. Agric.* 7(4), 117–124.
- Szlachta J., Tupieka M., 2013. Analiza opłacalności produkcji kukurydzy z przeznaczeniem na kiszonkę jako substratu do biogazowni. *Inż. Rol.* 17(3), 375–386.
- Właszczyk A., 2012. Systemy informacyjne w rolnictwie precyzyjnym. *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. Opole, 875–883.
- Wirkowska M., Brys J., Kowalski B., 2008. Wpływ aktywności wody na stabilność hydrolityczną i oksydacyjną tłuszczu wyekstrahowanego z ziaren kukurydzy. *Żywn. Nauka Technol. Jakość* 15(5), 273–281.
- Zbytek Z., 2002. Rolnictwo precyzyjne w Polsce. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 47(2), 42–46.

## **Dobór mocy i opłacalność inwestycji fotowoltaicznej w wybranym gospodarstwie rolnym**

Power selection and profitability of photovoltaic investment in a selected farm

### **Wstęp**

Ciągle zwiększanie się liczby ludności świata oraz industrializacja prowadzą do coraz większego zapotrzebowania na energię elektryczną. Prognozy wskazują na wyczerpywanie się konwencjonalnych źródeł energii, do których zalicza się węgiel, ropę naftową i gaz. W energetyce światowej wykorzystywany jest głównie węgiel kamienny i brunatny, który spalany w elektrowniach stanowi prawie 40% produkowanej energii elektrycznej. Jednym z głównych emiterów gazów cieplarnianych jest energetyka. Wśród elektrowni wykorzystujących konwencjonalne surowce to węglowe najbardziej degradują środowisko naturalne. 1 kWh wytworzona w elektrowniach węglowych to 360 gramów węgla jako składnika dwutlenku węgla emitowanego do atmosfery. Polska ma obecnie najgorszą strukturę energetyki wśród krajów europejskich, z dominacją źródeł nieodnawialnych [Godlewski 2020].

W Polsce blisko 5,4 miliona odbiorców energii elektrycznej to gospodarstwa rolne. Generują one blisko 6% zapotrzebowania na energię elektryczną w krajowej sieci elektroenergetycznej. Zapotrzebowanie energetyczne rolnictwa w Polsce jest ponad dwukrotnie wyższe niż w pozostałych krajach Unii Europejskiej, ponieważ przeciętnie gospodarstwa rolne na terenie UE są odbiorcami około 2,2% wytwarzanej energii elektrycznej [Klepcka i Pawlik 2018].

Odnawialne źródła energii (energia wiatrowa, słoneczna, hydroelektryczna, energia oceanów, energia geotermalna, biomasa i biopaliwa) stanowią alternatywę dla paliw kopalnych i przyczyniają się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, zróżnicowania dostaw energii oraz zmniejszania zależności od niepewnych i niestabilnych rynków paliw kopalnych, zwłaszcza ropy i gazu [Tora i in. 2022]. Rola energetyki odnawialnej z roku na rok coraz bardziej rośnie, jej całkowita produkcja w roku 2023 w Polsce wyniosła 45,2 TWh (27,1%) [Forum Energii 2025].

Podstawowym źródłem energii dla naszej planety jest Słońce. Do Ziemi dociera 174 PW (petawatów), z czego około 30% odbijane jest przez górne warstwy atmosfery, a resztę pochłania atmosfera, gleba, rośliny i woda, co w przeliczeniu na jednostkę powierzchni wynosi 3,5–7,0 kWh/m<sup>2</sup> dziennie. Dane te zależą od położenia danego obszaru na kuli ziemskiej. W Polsce roczna gęstość promieniowania słonecznego wynosi 950–1250 kWh/m<sup>2</sup>, co jest wystarczające, aby rozwijać energetykę słoneczną, która jest praktycznie jedynym niewyczerpywalnym dostępnym nam źródłem energii, którego kilka

---

<sup>1</sup> Uniwersytet w Siedlcach, Studenckie Koło Naukowe Agrobioinżynierii, kosmossa567@wp.pl

<sup>2</sup> Uniwersytet w Siedlcach, Wydział Nauk Rolniczych



procent jest w stanie zaspokoić zapotrzebowanie na energię całego świata. Udział odnawialnych źródeł energii w energetyce krajowej rośnie dynamicznie. Prognozy wskazują, że docelowo 80% nowych instalacji energetycznych związanych będzie z energetyką odnawialną. Energetyka słoneczna odpowiadać będzie za około 60% tego wzrostu [Godlewski 2020].

W 2009 r. przywódcy UE wyznaczyli cel, zgodnie z którym do 2020 r. 20% zużycia energii w UE ma pochodzić z odnawialnych źródeł energii. W roku 2018 ustalono cel na rok 2030: do tego czasu 32% zużycia energii w UE ma pochodzić z odnawialnych źródeł. W lipcu 2021 r., w związku z nowymi założeniami UE w obszarze ochrony klimatu, zaproponowano zmianę celu na 40% do 2030 roku [Tora i in. 2022].

Problemem, który obserwuje się w Polsce, w tym na obszarach wiejskich, jest duża ilość emisji zanieczyszczeń pochodzących ze źródeł energetycznych, tzw. niskiej emisji. Głównymi przyczynami takiego stanu rzeczy są: gwałtowny rozwój gospodarczy, którego skutkiem jest wzrost zapotrzebowania na energię, zmniejszająca się ilość zasobów kopalnych, a także nadmierne zanieczyszczenie środowiska i klimatu. Dlatego potrzebne są działania zaradcze przeciwdziałające temu problemowi. Jednym ze sposobów ograniczania niskiej emisji z obszarów wiejskich jest wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii. Będą one mieć znaczący udział w bilansie energetycznym poszczególnych struktur samorządowych. Na przestrzeni kilku ostatnich lat obserwuje się dynamiczny rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii w całym bilansie energetycznym. Podejmowane działania na rzecz rozwoju odnawialnych źródeł energii stały się kluczowym elementem polityki Unii Europejskiej związanej z ochroną środowiska naturalnego [Kujda i in. 2016].

Polska polityka energetyczna dąży do zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego kraju oraz dywersyfikacji energii i mocy wytwórczych. Istotne pod tym względem są działania podejmowane w sektorze rolnictwa i obszarów wiejskich, zarówno z punktu widzenia produkcji energii, jak i jej wykorzystania. Rozwój rolnictwa i obszarów wiejskich jest mocno uzależniony od dostępu do energii, która może być produkowana przy wykorzystaniu surowców będących w zasobach rolnictwa. Ważne staje się zatem określenie wyzwań dla rolnictwa w Polsce w zakresie zrównoważonej energetyki, tj. rozwoju odnawialnych źródeł energii, modernizacji budynków inwentarskich w kierunku niskoenergochłonności, nowych, niskoenergochłonnych technik i technologii produkcji rolnej, racjonalnego zużycia energii w gospodarstwach domowych rolników i innych gospodarstwach domowych osób zamieszkujących obszary wiejskie w Polsce [Piwowar i Dziuk 2015].

Towarzyszące rozwojowi cywilizacyjnemu zapotrzebowanie na energię, przy jednoczesnym wyczerpywaniu się jej konwencjonalnych zasobów, powoduje zwiększenie zainteresowania pozyskiwaniem energii ze źródeł odnawialnych. Najbardziej obiecującym odnawialnym źródłem energii jest energia promieniowania słonecznego wykorzystywana do wytwarzania energii elektrycznej poprzez zastosowanie ogniw fotowoltaicznych.

Efektywnemu wykorzystaniu OZE w energetyce sprzyjałoby tworzenie lokalnych, rozproszonych źródeł energii odnawialnej, zlokalizowanych na obszarach wiejskich. Stworzenie lokalnego systemu wykorzystania OZE jest uważane za bardzo efektywne energetycznie, w pełni ekologiczne i aktywizujące obszary wiejskie przez tworzenie nowych miejsc pracy, pełne wykorzystanie gruntów i obrót kapitału w układzie lokalnym [Jasiulewicz 2012].

Wspierając działania na rzecz inwestycji związanych z pozyskaniem energii z OZE i bezpośrednim zużyciem jako źródła energii, należy wziąć pod uwagę jej pozytywny wpływ na szanse i perspektywy rozwoju lokalnych obszarów wiejskich, poprawę spójności społecznej obszaru i możliwości generowania nowych miejsc pracy, szczególnie w sektorze MŚP, jak również pojawienie się na rynku wielu niezależnych producentów energii. Dążenie do wzrostu odnawialnych źródeł energii, wynikającego z przepisów prawnych zarówno krajowej, jak i unijnej gospodarki energetycznej, wywiera nacisk na tworzenie odpowiednich systemów wsparcia, umożliwiających finansowanie inwestycji w instalacje fotowoltaiczne [Kryszk i Kurowska 2014].

Celem pracy była analiza opłacalności inwestycji w instalację fotowoltaiczną w wybranym gospodarstwie rolnym zlokalizowanym w województwie lubelskim.

### **Material i metody**

W pracy wykorzystano publikacje z zakresu problematyki przedmiotu, dane udostępnione przez przedstawiciela firmy OZE Group z Sokołowa Podlaskiego, specjalizującej się w doborze oraz montażu kompleksowej instalacji fotowoltaicznej, oraz właściciela gospodarstwa rolnego. Przeanalizowano trzy warianty instalacji fotowoltaicznych pod kątem kosztów inwestycji, miesięcznych oszczędności na rachunkach za zużytą energię elektryczną, czasu zwrotu inwestycji oraz oszczędności wynikających z inwestycji na przestrzeni kolejnych lat użytkowania. Analizując zagadnienie, posłużono się metodą opisową.

### **Charakterystyka gospodarstwa**

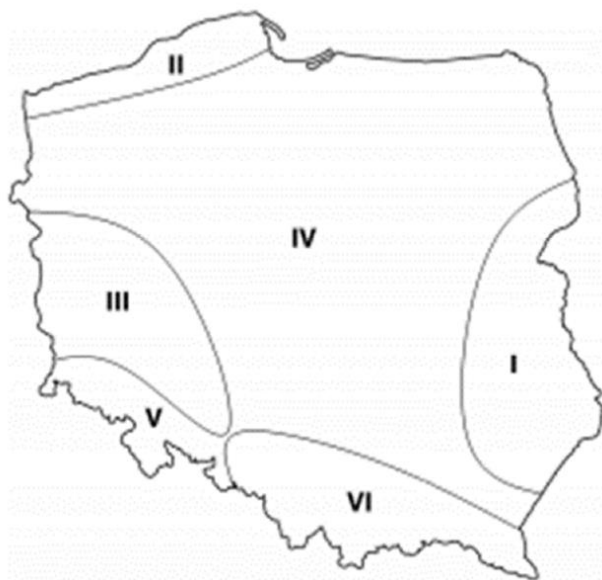
Analizowane w pracy gospodarstwo położone jest w województwie lubelskim, w powiecie bialskim, w gminie Międzyrzec Podlaski. Ogólna powierzchnia gospodarstwa wynosi 5,42 ha. Analizując wielkość gospodarstwa w regionie północnej części województwa lubelskiego, gospodarstwo to należy do małych. Jakość gleb w gospodarstwie jest słaba. W większości jest to gleba klasy VI – 65% oraz V – 35%. Gospodarstwo nastawione jest wyłącznie na produkcję roślinną. W strukturze zasiewów dominuje pszenica – 42%, łubin wąskolistny – 18%, len – 14%, ziemniaki – 10%, bobik i groch łącznie – 16%.

Gospodarstwo, biorąc pod uwagę jego wielkość, jest dobrze zaopatrzone w sprzęt rolniczy. Właściciel posiada jeden ciągnik rolniczy, kombajn do zbioru ziemniaków „Anna”, rozrzutnik obornika, siewnik zbożowy, sadzarkę do ziemniaków, rozsiewacz nawozów mineralnych, pług, bronę talerzową, glebogryzarkę oraz przyczepę transportową. Średni wiek maszyn rolniczych wynosi 22 lata.

### **Promieniowanie słoneczne w Polsce**

W ciągu roku rozkład promieniowania słonecznego w Polsce wykazuje dużą nierównomierność i zróżnicowanie. Na okres kwiecień–wrzesień przypada ok. 80% całko-

witej rocznej sumy nasłonecznienia. Największym nasłonecznieniem (ryc. 1) charakteryzuje się południowa część województwa lubelskiego, gdzie wynosi ono ok.  $1050 \text{ kWh/m}^2$  na rok. W centralnej Polsce nasłonecznienie kształtuje się na poziomie  $1022\text{--}1048 \text{ kWh/m}^2$  na rok, zaś na północy Polski, w centralnej części województwa śląskiego, południowej części województwa dolnośląskiego, południowej części Podkarpacia nasłonecznienie osiąga najmniejsze wartości, poniżej  $1000 \text{ kWh/m}^2$  na rok [Kulesza 2018]. Średnia dzienna suma natężenia promieniowania słonecznego w Polsce wynosi  $2,7 \text{ kWh/m}^2$ , a w półroczu letnim  $4,2 \text{ kWh/m}^2$ . Wielkość promieniowania, w zależności od zachmurzenia, wynosi: w słoneczny letni dzień  $1000 \text{ W/m}^2$ , przy czym podczas małego zachmurzenia  $700 \text{ W/m}^2$ , przy pełnym zachmurzeniu natomiast  $50 \text{ W/m}^2$  [Kulesza 2018].



Ryc. 1. Strefy natężenia promieniowania słonecznego w Polsce [Kulesza 2018]

W odniesieniu do promieniowania słonecznego funkcjonuje także pojęcie usłonecznienia, które definiuje się jako średnią liczbę godzin słonecznych w skali roku. W przypadku Polski usłonecznienie wynosi od 1390 do 1900 godzin rocznie. W praktyce problemem nie jest aspekt pozyskania energii z promieniowania słonecznego, lecz jej magazynowanie oraz wykorzystanie we właściwym miejscu i czasie [Kulesza 2018].

### Ogniwa fotowoltaiczne

Fotowoltaika jest jedną z najbardziej innowacyjnych i przyjaznych dla środowiska technologii. Systemy fotowoltaiczne cechują się prostą konstrukcją i są łatwe do instalacji i wykorzystania. Instalacje słoneczne mogą funkcjonować bez podłączenia do sieci albo jako elementy połączone do sieci elektroenergetycznej lub ciepłowniczej. Ceny rynkowe

instalacji fotowoltaicznych maleją wraz z popularyzacją i rozwojem technologii energetyki słonecznej, przy jednoczesnym wzroście ich efektywności.

Promieniowanie słoneczne można przetworzyć bezpośrednio na energię elektryczną za pomocą ogniw fotowoltaicznych w procesie konwersji fotowoltaicznej. Ogniwa fotowoltaiczne produkują najwięcej energii w ciągu dnia, kiedy zwykle zapotrzebowanie na energię jest największe. Obsługa instalacji fotowoltaicznej sprowadza się do okresowych przeglądów i napraw oraz czyszczenia powierzchni pokryć szklanych. Za energię słoneczną do oświetlania ogniw nie trzeba płacić, tak jak np. za węgiel do elektrowni.

Moduł słoneczny to kilkałączonych ze sobą ogniw słonecznych (36–40 ogniw). Ogniwo ma kształt kwadratu ze ściętymi rogami. Moduł umieszcza się między dwiema szybami ze szkła hartowanego o obniżonej zawartości tlenku żelaza. Ogniwa łączy się srebrną taśmą i przykleja do dolnej szyby. Szyby na obwodzie uszczelnia się podkładkami z kauczuku odpornego na promieniowanie UV i zespala się ramę aluminiową celem stabilizacji konstrukcji. Paręłączonych ze sobą modułów tworzy panel [Wolańczyk 2019].

Ogniwo fotowoltaiczne to półprzewodnikowa krzemowa płytka, w której wnętrzu istnieje pole elektryczne stanowiące barierę potencjału. Promienie słoneczne padające na fotoogniwo wybijają elektrony z ich ustalonych miejsc w strukturze półprzewodnika, tworząc w ten sposób pary nośników charakteryzujące się przeciwnymi ładunkami, inaczej interpretując, powstaje elektron z ładunkiem ujemnym, a z ładunkiem dodatnim powstaje „dziura” po wybiciu elektronu. Ładunki te następnie zostają rozdzielone, powodując, że w ogniwie pojawia się napięcie, a powstały w ogniwie prąd możemy odebrać za pomocą kabli, a także zmagazynować w bateriach lub przesłać do sieci elektrycznej. Pojedyncze ogniwa fotowoltaiczne da się łączyć w grupy, powstają wówczas tzw. panele fotowoltaiczne, które można montować na dachach budynków lub na specjalnych konstrukcjach na ziemi. Liczba paneli będzie zależna od ilości energii, którą zamierza się uzyskać. Ogniwa zbudowane są głównie z krzemu i w tym zakresie można wymienić:

- ogniwa monokrystaliczne – wykonane z jednego kryształu krzemu; cechują się ciemnobrązową barwą i wysoką sprawnością sięgającą 18–22%;
- ogniwa polikrystaliczne – tworzone z wykryształizowanego krzemu; mają barwę niebieską z widocznymi kryształkami krzemu i sprawność ok. 14–18% oraz są tańsze od poprzednich;
- ogniwa amorficzne – wykonane z bezpostaciowego, niewykryształizowanego krzemu; mają barwę lekko bordową i niską sprawność 6–10%, ale dzięki temu są stosunkowo tanie [Wolańczyk 2019].

## Wyniki

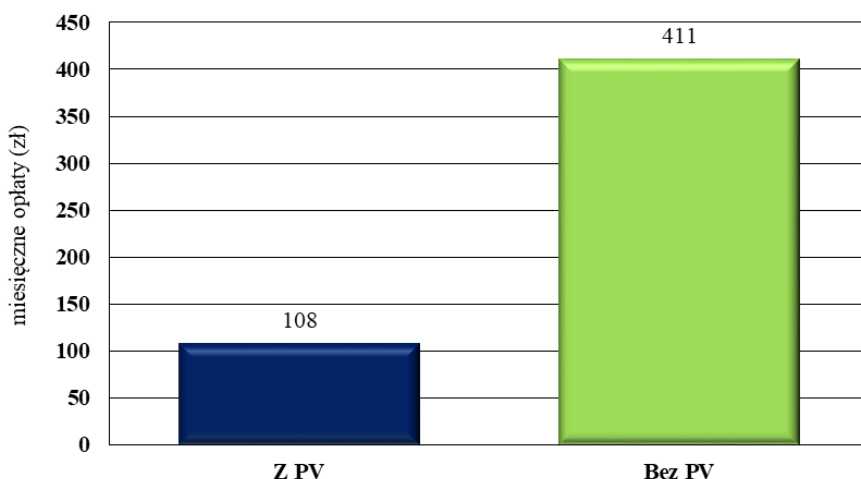
W analizowanym gospodarstwie rolnym firma OZE Group zaproponowała trzy warianty instalacji fotowoltaicznych, różniących się parametrami pracy urządzeń oraz miejscem lokalizacji paneli fotowoltaicznych w gospodarstwie. Były to panele montowane na dachu budynku inwentarskiego, gruntowe oraz hybrydowe z magazynem energii.

Na koszt instalacji fotowoltaicznej składa się cena systemu fotowoltaicznego oraz jego montaż i logistyka (transport urządzeń). Sprzęt fotowoltaiczny to przede wszystkim panele fotowoltaiczne, falownik oraz pozostałe komponenty, w tym także niezbędne

akcesoria optymalizacyjne oraz dodatkowe elementy konstrukcyjne. Cena tych elementów zależy od wielkości instalacji fotowoltaicznej (mocy), a także od wybranych komponentów.

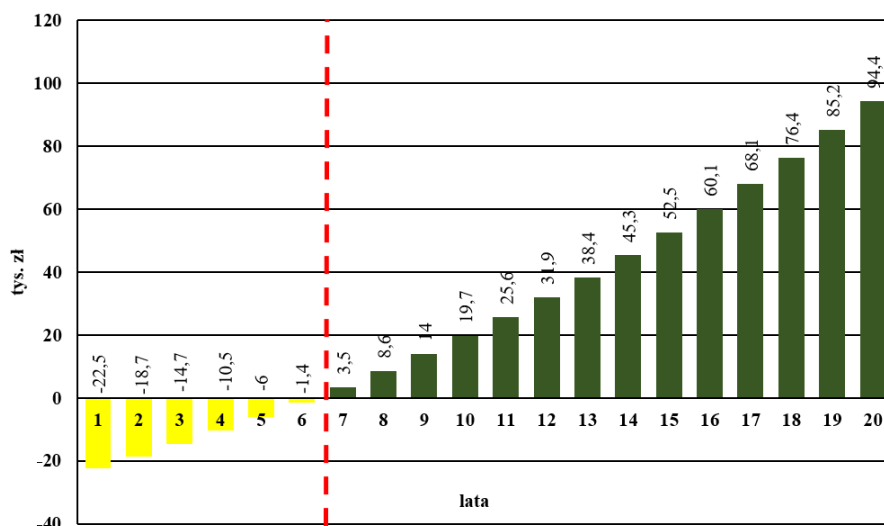
Pierwsza propozycja dotyczyła instalacji z panelami umieszczonymi na dachu budynku: inwertera Solaredge razem z trójfazowym falownikiem oraz paneli fotowoltaicznych w ilości 12 sztuk. Gwarancja tego przedsięwzięcia dzieli się na trzy grupy: moduł – 15–30 lat, falownik – 12 lat oraz montaż – 5 lat. Trójfazowy falownik zwany inwerterem służy do przemiany prądu stałego na prąd przemienny. Trójfazowy oznacza, że będzie zasilany z trzech faz po 400 VAC, a na wyjściu ma trzy fazy o napięciu międzyfazowym 400 V. Dzięki równomiernemu rozkładaniu mocy zapewnia mniejsze obciążenie sieci elektrycznej. Falownik ten zawsze pracuje z optymalnym napięciem wejściowym niezależnie od liczby modułów lub warunków atmosferycznych. Optymalizator zapewnia równomierną pracę paneli fotowoltaicznych. Służy również do ochrony modułów oraz zwiększa żywotność całej instalacji fotowoltaicznej. Panele w ilości 12 sztuk i kącie nachylenia 30° zapewnią optymalne wykorzystanie promieniowania słonecznego.

Koszt proponowanej instalacji łącznie z montażem wynosi 33 179,97 zł. Istnieje możliwość otrzymania 7000 zł dotacji z programu „Mój Prąd”. Dzięki wykorzystaniu tego typu instalacji rachunki za prąd w gospodarstwie obniżą się o prawie 74% miesięcznie (ryc. 2).



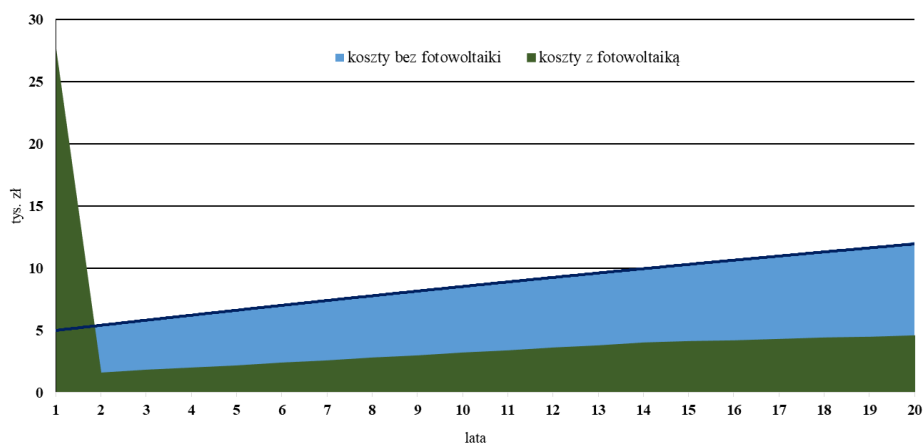
Ryc. 2. Porównanie średnich miesięcznych rachunków za energię elektryczną (z instalacją PV, bez instalacji PV)

Bardzo istotnym aspektem oprócz obniżenia miesięcznych rachunków za zużytą energię elektryczną w gospodarstwie jest również czas zwrotu inwestycji.



Ryc. 3. Zwrot inwestycji w czasie

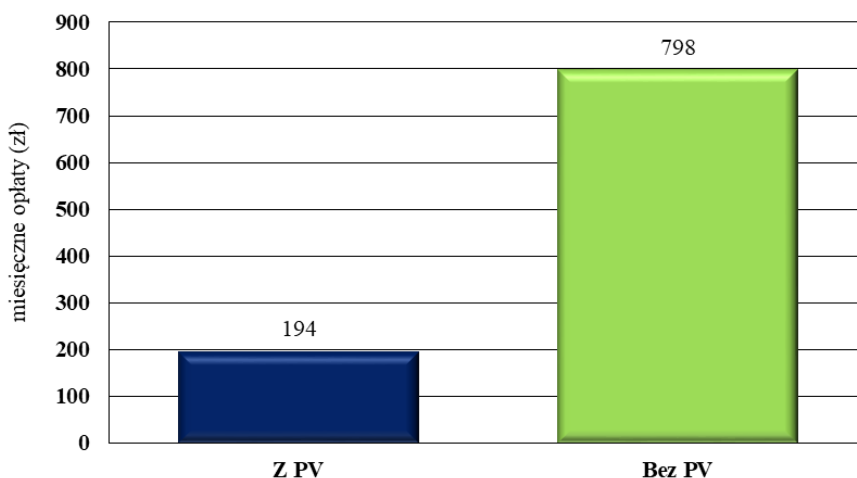
Z przedstawionej analizy wynika, że inwestycja zwróci się po 6 latach jej użytkowania (ryc. 3), a oszczędności wynikające z niższych rachunków za prąd na przestrzeni kolejnych lat są znaczące (ryc. 4).



Ryc. 4. Oszczędności wynikające z inwestycji

Następnie poddano analizie koszty i zyski wynikające z inwestycji w droższą instalację fotowoltaiczną z panelami umieszczonymi na gruncie. Inwerter Sofar, panele fotowoltaiczne w ilości 18 sztuk z gwarancją na moduły 15 lat i na montaż 5 lat. Falownik służy do przemiany prądu stałego na prąd przemienny. Panele fotowoltaiczne w ilości 18 sztuk o takim samym nachyleniu co w poprzednim rozwiązaniu 30°. W kosztach montażu paneli zawarte są również koszty konstrukcji wolnostojącej do ich montażu na gruncie.

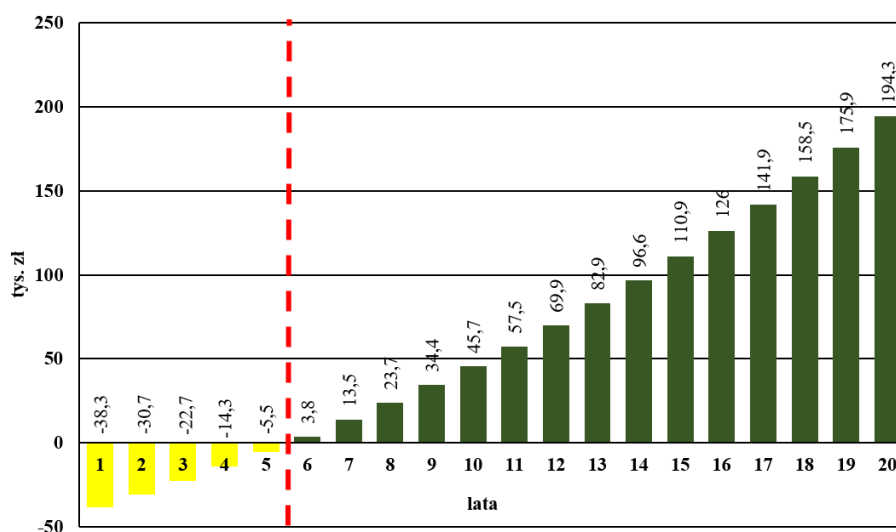
Koszt inwestycji wyniesie 45 578,22 zł. Rachunki za prąd zmniejszą się o prawie 76% miesięcznie (ryc. 5).



Ryc. 5. Porównanie średnich miesięcznych rachunków za energię elektryczną (z PV i bez PV)

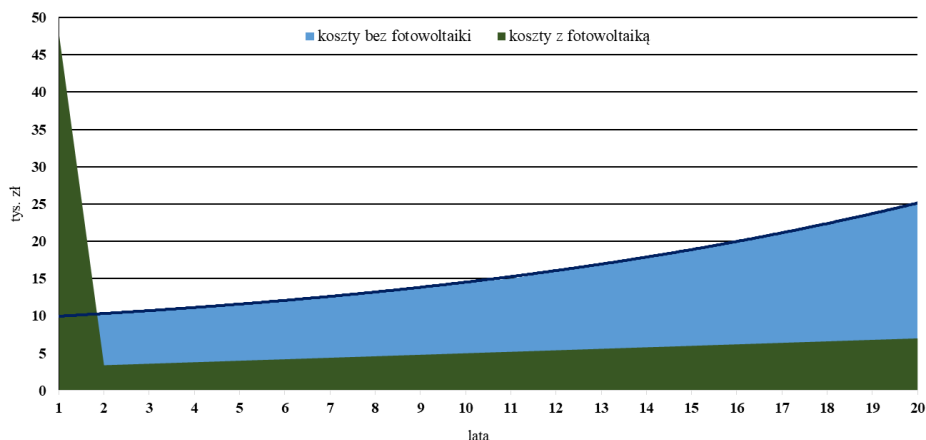
W tym wariancie przyjęto założenie, że zapotrzebowanie na energię elektryczną w gospodarstwie będzie większe w stosunku do wariantu pierwszego, co wiąże się z wyższymi rachunkami za prąd.

Z założeń inwestycyjnych wynika, że koszty inwestycji zwrócą się po 5 latach eksploatacji instalacji fotowoltaicznej (ryc. 6).



Ryc. 6. Zwrot inwestycji w czasie

Również w tym przypadku oszczędności na rachunkach za prąd są znaczące (ryc. 7).

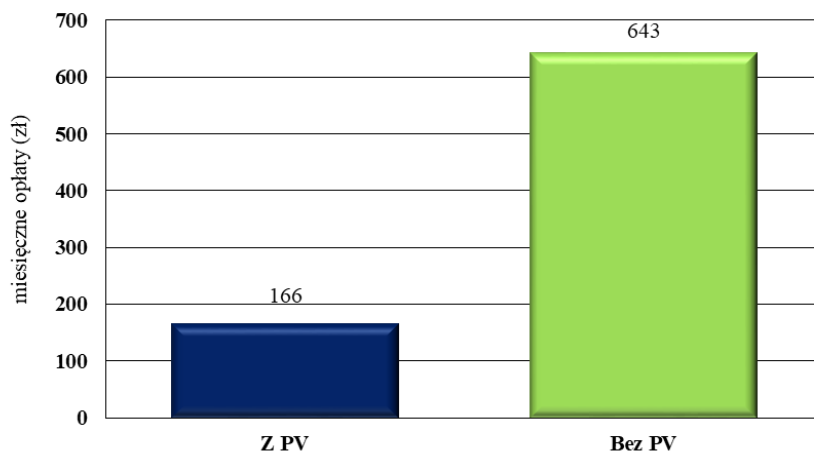


Ryc. 7. Oszczędności wynikające z inwestycji

Trzecia propozycja instalacji fotowoltaicznej dotyczyła układu hybrydowego z magazynem energii oraz inwerterem identycznym jak w poprzedniej instalacji gruntowej. Zestaw zawierał: panele fotowoltaiczne w ilości 14 sztuk, magazyn energii oraz falownik hybrydowy. Oferta posiada 15 lat gwarancji na moduły i 5 lat na montaż. Kąt pochylenia paneli wynosi 30°. Falownik hybrydowy służy do tego samego co zwykły falownik, czyli do przekształcenia prądu stałego na prąd przemienny, ponadto zarządza magazynowaniem energii. Ważnym elementem układu są akumulatory magazynujące nadmiar energii elektrycznej, którą można wykorzystać w dowolnym czasie. Magazyn energii firmy Sofar jest akumulatorem litowo-żelazowo-fosforowym.

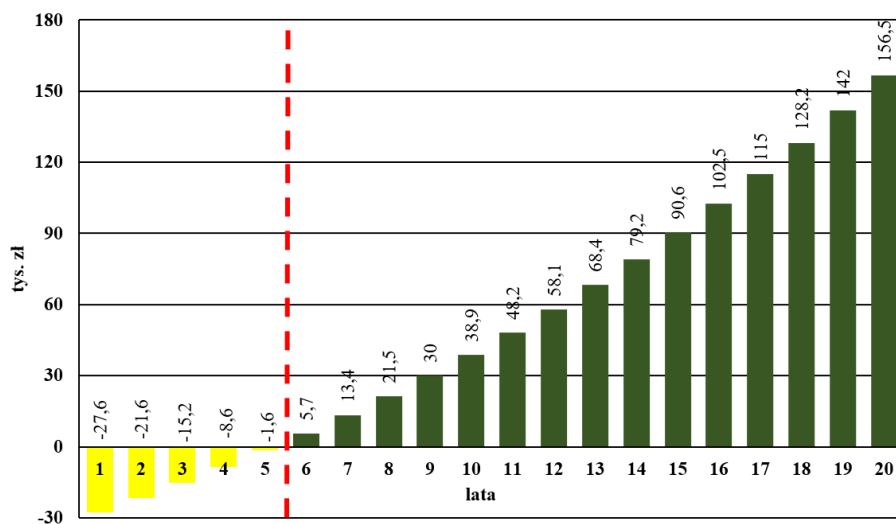
Koszt inwestycji jest wyższy od dwóch poprzednich i wynosi 56 332,32 zł. Jest to najdroższa inwestycja, ale zarazem najbardziej korzystna. Dofinansowanie, jakie można uzyskać z programu „Mój Prąd”, wynosi 23 000 zł. Rachunki za prąd zmniejszą się o ok. 74% miesięcznie (ryc. 8).





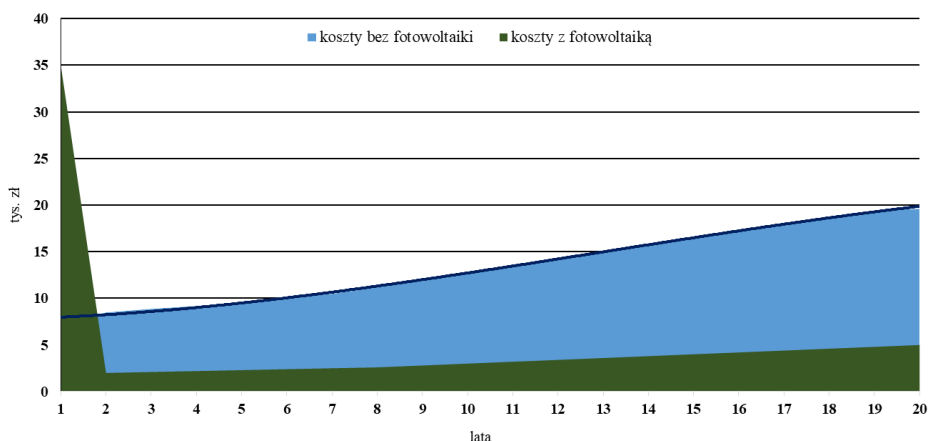
Ryc. 8. Porównanie średnich miesięcznych rachunków za energię elektryczną

Zwrot poniesionych kosztów inwestycyjnych, według założeń finansowych, powinien nastąpić po piątym roku użytkowania instalacji (ryc. 9).



Ryc. 9. Zwrot inwestycji na przestrzeni lat

Podobnie jak w dwóch poprzednich propozycjach instalacji fotowoltaicznych, ta również gwarantuje duże oszczędności, jeśli chodzi o rachunki za prąd (ryc. 10).



Ryc. 10. Oszczędności wynikające z inwestycji

### Podsumowanie

Produkcja energii elektrycznej z wykorzystaniem instalacji fotowoltaicznej jest inwestycją długookresową, która w analizowanym gospodarstwie zwróci się po około 5 latach użytkowania. Przeprowadzone analizy wskazują, iż produkcja energii elektrycznej z wykorzystaniem instalacji fotowoltaicznych na potrzeby gospodarstwa rolnego odznacza się znaczną efektywnością zarówno w zakresie długofalowych oszczędności, jak i obniżenia kosztów funkcjonowania gospodarstwa. Każdy wariant instalacji fotowoltaicznej proponowany dla gospodarstwa rolnego, przy sprzyjających warunkach funkcjonowania, generował obniżenie rachunków za prąd o około 75% miesięcznie.

### Bibliografia

- Forum Energii, 2025. Transformacja energetyczna w Polsce. Edycja 2024, <https://www.forum-energii.eu/transformatcja-edycja-2024> [dostęp: 03.04.2025].
- Godlewski M., 2020. Fotowoltaika przyszłością energetyki. *Post. Fiz.* 71(2), 16–21.
- Jasiulewicz M., 2012. Możliwości aktywizacji obszarów wiejskich przez agroturystykę oraz produkcję surowców energetycznych w rolnictwie w subregionie koszalińskim. *Acta Sci. Pol., Adm. Locorum* 11(3), 89–96.
- Klepacka A.M., Pawlik K., 2018. Zwrot z inwestycji farmy fotowoltaicznej w ramach zmieniających się przepisów. *Zag. Ekon. Rol.* 356(3), 168–191.
- Kryszk H., Kurowska K., 2014. Fotowoltaika jako źródło energii odnawialnej i nowy obszar aktywności na obszarach wiejskich. *Stud. Obsz. Wiej.* 35, 255–272.
- Kujda Ł., Kozacki D., Pociech D., Hryniewicz M., 2016. Wpływ odnawialnych źródeł energii na zmniejszenie emisji zanieczyszczeń z obszarów wiejskich. *Prob. Inż. Rol.* 3 (93), 59–67.
- Kulesza K., 2018. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na ilość promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni ziemi w Polsce (nieopublikowana rozprawa doktorska). Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Katedra Geografii Fizycznej, Warszawa.

- Piwowar A., Dzikuć M., 2015. Proekologiczna gospodarka energetyczna w rolnictwie i na obszarach wiejskich w Polsce – stan aktualny i perspektywy rozwoju. *Wiś Roln.* 3(168), 107–114.
- Tora M., Karbowniczek M., Tora B., 2022. Fotowoltaika w Polsce: stan aktualny i perspektywy. *Zesz. Nauk. Inst. Gospod. Surowcami Miner. Energią. PAN* 110, 111–118, <https://doi.org/10.24425/140530>
- Wolańczyk F., 2019. Jak wykorzystać darmową energię. Wydawnictwo KaBe, Krosno, 120.

## **Wpływ warunków przyrodniczych na produktywność pastwiska sylwopastoralnego**

The impact of natural conditions on productivity sylwopastoral pasture

### **Wstęp**

Sylwopastoralne użytkowanie pastwisk jest typową cechą agroleśnictwa. Ten kierunek we współczesnym rolnictwie wprowadzany jest obecnie na wielu obszarach przyrodniczo cennych [Bobiec i in. 2024]. Według Dzierżyńskiej [2011] „agroleśnictwo oznacza dziedzinę wiedzy i praktyki, która łączy w sposób celowy rolnictwo i leśnictwo, tworząc zintegrowany system użytkowania ziemi. W takim systemie wykorzystanie gruntu do uprawy roślin lub wypasu zwierząt łączone jest z jednoczesnym wzrostem drzew na tym samym terenie”. Agroleśnictwo to najstarsza forma rolnictwa. Uprawy zakładano na terenach zadrzewionych, na polanach, na których wykarczowano lub wypalano roślinność drzewiastą. Od kilkuset lat porost roślinami drzewiastymi był nieodłącznym fragmentem krajobrazu użytków rolnych. Z malarskich przekazów starożytnych i średniowiecznych wiemy, że agroleśne sposoby użytkowania rolniczej przestrzeni produkcyjnej były stosowane w chowie zwierząt, które swobodnie wypasano w sadach owocowych, w winnicach oraz na terenach leśnych. Praktyki te były również znane i stosowane w Polsce, niektóre przetrwały do dzisiaj, jak np. wypas owiec na halach, wypas kur w sadach owocowych, pasy wiatrochronne Chłapowskiego w Wielkopolsce, pasy wierzbowe na Polesiu itp. [Bobiec i in. 2024, Bański 2007].

Wyczerpujące się zasoby naturalne (woda, tereny użyteczne rolniczo), wzrastające zanieczyszczenia pochodzenia rolniczego wód i gleby oraz zmieniający się klimat skłoniły do szukania proekologicznych i zrównoważonych metod produkcji rolnej [Chowaniak i in. 2020, Klima i in. 2022, Puła i in. 2024, Tyburski i Żakowska-Biemans 2007].

System agroleśniczego użytkowania przestrzeni rolniczej skupia w sobie zarówno funkcje ekosystemowe przyjazne dla środowiska, jak i uprawę roli i roślin wraz z chowem zwierząt gospodarskich. System ten daje możliwości poprawy opłacalności gospodarstw rolnych. Obecnie połączenie w jednym gospodarstwie rolnym uprawy roli i roślin z produkcją ogrodniczą oraz leśnictwem ma wiele zalet zarówno prośrodowiskowych, jak i gospodarczych. We współczesnych czasach, gdy ochrona środowiska staje się priorytetem, szczególnie w obliczu zmian klimatycznych, ten kierunek rolnictwa wychodzi naprzeciw oczekiwaniom społecznym [Klima i in. 2020a].

---

<sup>1</sup> Uczelnia Państwowa im. Jana Grodka w Sanoku, Zakład Gospodarki Rolnej i Leśnej, Koło Naukowe Agroekolog, m13syr08@gmail.com

Niekorzystne zjawiska obserwowane w przyrodzie (nawracające susze, huraganowe wiatry, powodzie, późne przymrozki, degradacja gleby i inne) związane są z wieloletnimi trendami wahań temperatury oraz opadów. Dotyczy to zwłaszcza występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych. Rozwiązaniem tych problemów może okazać się zrównoważone zarządzanie glebą, w tym sekwestracja dwutlenku węgla. Niebagatelne znaczenie posiada także umiejętne stosowanie nawozów mineralnych (wyliczenie dawki), jak i wykorzystanie pestycydów w oparciu o progi ekonomicznej i biologicznej szkodliwości [Ilnicki 2004, Kasperczyk i Klima 2025]. W systemie agroleśnym na gruntach ornych stosuje się głównie mieszanki roślinne, które obok aspektów produkcyjnych posiadają walory prośrodowiskowe [Klima i in. 2020b, Pużyńska i in. 2021]. Jednym ze sposobów adaptacji rolnictwa do zmian klimatu może być agroleśnictwo [Bobiec i in. 2024]. Dużą zaletą systemu agroleśnego jest ochrona środowiska poprzez m.in. zwiększenie bioróżnorodności. Do bezpośrednich korzyści płynących z poprawy bioróżnorodności można zaliczyć utrzymanie na stałym poziomie podstawowych procesów i funkcji ekologicznych. Umożliwia to utrzymanie na odpowiednim poziomie żyzności gleby, co wpływa na uzyskiwanie wysokich plonów. Bioróżnorodność w uprawach polowych sprzyja ograniczeniu natężenia erozji wodnej i wietrznej, ułatwia obieg makro- i mikroprzemiastków nawozowych oraz sprzyja retencji wodnej. Przykładowo plon rzepaku w 30% zależy od aktywności pszczół [Zajac i Budzyński 2010].

Od lat 70. ubiegłego wieku obserwuje się w Europie rozwój agroleśnictwa. Wraca się coraz chętniej do tej znanej od pokoleń formy kształtowania krajobrazu rolniczego z uwagi na jej wymierne korzyści dla gospodarstw rolnych oraz środowiska naturalnego [Dzierżyńska 2011]. System agroleśniczy sprzyja poprawie wydajności z jednostki powierzchni upraw rolnych, jak również umożliwia pozyskiwanie drewna. Ponadto odpowiednio zaprojektowane zadrzewienia pełnią funkcję fitosanitarną, chroniąc zbiorniki i ciek wodne przed zanieczyszczeniem azotanami i fosforanami pochodzenia rolniczego [Gąsiorek i Kostuch 1994, Ilnicki 2004].

Dzięki zaadaptowaniu do obecnych potrzeb, między innymi poprzez wdrożenie nowoczesnych technologii, agroleśnictwo zostało określone jako innowacja w rolnictwie [Bobiec i in. 2024].

W zależności od charakteru i pełnionej funkcji wyszczególnić można następujące systemy agroleśne [Dzierżyńska 2011]: uprawy alejowe i drzewa graniczne, ulepszone ugory, drzewa wielofunkcyjne, pastwiska leśne, gospodarstwa leśne, nadbrzeżne pasy buforowe, pasy wiatrochronne, produktywnie żywopłoty.

Jedną z form gospodarki agroleśnej jest sylwopastoralne użytkowanie pastwisk (pastwiska leśne). Sylwopastoralizm jest to taki sposób użytkowania, w którym na łąkach i pastwiskach stosuje się nasadzenia drzew. Biorąc pod uwagę zasady zarządzania pastwiska sylwopastoralnego, można stwierdzić, że dla ochrony przez słońcem należy dobierać drzewa cieniujące. Nie mogą to być drzewa o liściach i owocach trujących. Korony powinny być wysoko umieszczone. Sprzyja temu odcinanie (krzesanie) dolnych odgałęzień. Wysoko umieszczone korony nie utrudniają zwierzętom poruszania się i nie utrudniają wzrostu traw. Powinny to być akacje, np. *Robinia pseudoacacia*, oraz wysokopienne drzewa owocowe. W celu ochrony sadzonek drzew stosuje się repelenty. W miarę upływu czasu zmniejsza się liczebność drzew, ale zwiększa się roczny przyrost ich biomasy. Świerk 10-letni na pastwiskach górskich przyrasta po 2,2 kg s.m./sztukę, a 60-letni aż 26 kg. Jeśli świerków 10-letnich jest ok. 600 szt., to po 50–60 latach jest już tylko 300 szt. Łączny przyrost świerków 10-letnich wynosi ok. 1300 kg/ha, a świerków 50–60-letnich

ok. 7800 kg/ha. Po 60 latach roczny przyrost świerków zmniejsza się. Dlatego po tym czasie drzewa powinny być wycinane, a w ich miejsce wprowadzane nowe nasadzenia. Obliczony za okres 60 lat średnioroczny przyrost suchej masy biomasy wynosi ok. 5398 kg, a wartość energetyczna tego przyrostu 4665 GJ. Jest to wartość porównywalna z 4,4 t węgla. Zatem wprowadzanie na górskie pastwiska sylwopastoralnego użytkowania jest zasadne. W nasadzeniach należy stosować świerk. Jest on w minimalny sposób zjadany przez zwierzęta i szybko przyrasta. Inny gatunek to modrzew; nie powinno się wysadzać jodły, sosny, jawora. Obsada ok. 300 szt./ha. Maksymalna obsada owiec to 12 szt./ha, czyli 1 SD/ha. Nachylenie stoku 10–20° [Gąsiorek i Kostuch 1994, Gąsiorek i in. 2000]. Według cytowanych autorów do wymiernych korzyści pastwiska sylwopastoralnego można zaliczyć:

- możliwość wyżywienia pastwiskowego w latach suchych, gdyż zielona ruń trawiasta utrzymuje się pod koronami drzew znacznie dłużej niż na powierzchni nieoświetnionej, a przy tym znacznie lepiej plonuje. Pod koronami drzew w latach suchych zielona ruń utrzymuje się 2 tygodnie dłużej;
- gospodarcze znaczenie zadrzewień pastwiskowych wynika m.in. z faktu, że zastępują one kosztowne ogrodzenia pastwiskowe. Są one trwalsze i nie wymagają remontów. Do korzyści niewymiernych można zaliczyć:
  - ograniczanie erozji wodnej (tab. 1),
  - wzbogacenie gleby w materię organiczną, która pochodzi z opadłych liści drzew,
  - drzewa są siedliskiem ptaków (bioróżnorodność), które zmniejszają liczbę szkodników,
  - drzewa zwiększają walory krajobrazowe terenu poprzez różne formy, barwy i kwiaty; drzewa kwiatowe dostarczają pożytku dla pszczoł,
  - drzewa zwiększają uwilgotnienie siedlisk, które spowodowane jest zacienieniem, intercepcją opadów atmosferycznych i osłabieniem ruchów powietrza. Intercepcja opadów: pszenica ozima 14%, las bukowy 19%, trawy 21%, las sosnowy 28%, las świerkowy 33% [Puchalski i Prusinkiewicz 1990].

Tabela 1. Glebochronna wartość różnego użytkowania gruntów [Klima i Kasperczyk 2009]

| Okrywa roślinna | Zmyw powierzchniowy ( $t \cdot h^{-1}$ ) | Relacja (%)        |
|-----------------|------------------------------------------|--------------------|
| Ziemniaki       | 21,80                                    | 100                |
| Zboża           | 2,50                                     | 11 (8,7-krotnie)   |
| Łąka            | 0,11                                     | 0,5 (198-krotnie)  |
| Las             | 0,03                                     | 0,13 (726-krotnie) |

W piśmiennictwie polskim nie ma jak dotąd opracowań prawidłowo definiujących agroleśnictwo (ang. *agroforestry*) [Dzierżyńska 2011, Vandermeulen i in. 2018]. Używana niekiedy nomenklatura określa agroleśnictwo jako system orno-drzewny oraz leśno-pastwiskowy. Te próby definiowania są nieprecyzyjne i wprowadzają w błąd odbiorcę, który nie zna anglojęzycznej literatury przedmiotu. Uczestnicy szkoleń i spotkań promujących agroleśnictwo uważają, że takie definicje rodzą skojarzenia z prowadzeniem orki, uprawy oraz wypasu zwierząt w lesie, co zniechęca do zgłębienia tematu i ewentualnego adaptowania agroleśnictwa do praktyki. Nazwy agroleśnictwo i systemy

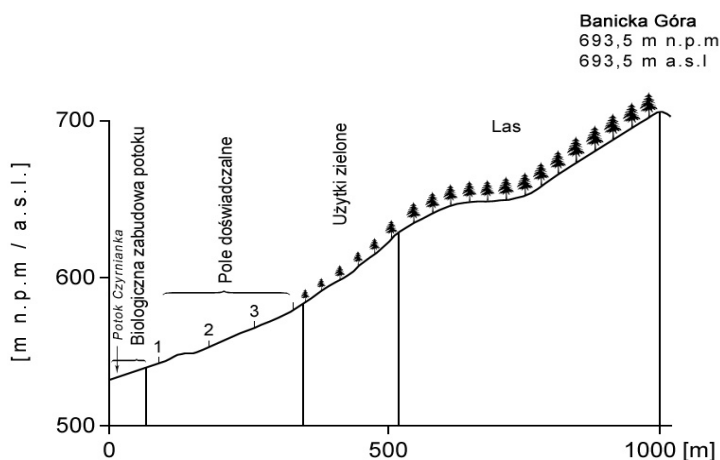
agroleśne wydają się najbardziej odpowiednie do opisanie systemów produkcji rolnej integrujących drzewa i krzewy do uprawy (np. rośliny energetyczne) oraz do chowu zwierząt w sposób naśladujący naturę, tj. odzwierciedlający piętra lasu. Taka ogólna definicja agroleśnictwa uznawana jest za zrozumiałą i wskazującą na prowadzenie produkcji rolnej na użytkach rolnych, a nie leśnych.

Celem pracy była ocena sylwopastoralnego użytkowania pastwiska dla bydła mlecznego, a w szczególności określenie wpływu zwiększania wysokości terenu na wydajność suchej masy porostu roślinności pastwiskowej.

## Material i metody

Badania wykonano w roku 2024 w Stacji Doświadczalnej Czyrna, położonej w Beskidzie Niskim w okolicach Krynicy-Zdroju. Przedmiotem badań było określenie wpływu 7 różnych wysokości n.p.m. na plon suchej masy runi pastwiskowej.

Plon zielonki z pastwiska określono z różnicy plonu z kontroli (ogrodzona łąka kośna) i pastwiska. Na stoku (ryc. 1) użytkowanym jako pastwisko sylwopastoralne założono 7 stanowisk doświadczalnych na różnych wysokościach n.p.m. (510, 535, 550, 575, 590, 615, 645 m). Były to stanowiska kontrolne powtórzone 4-krotnie, ogrodzone, użytkowane jako łąka kośna o pow. 2,25 m<sup>2</sup> (1,5 × 1,5 m). W wyznaczonych przyległych miejscach (1,5 × 1,5 m) zbierano plon świeżej masy runi pastwiskowej. Z różnicy plonów wyliczano masę zielonki pobranej przez zwierzęta. Pierwszego zbioru zielonki dokonano 5.06.2024. Następne zbiory przeprowadzano ok. 5. dnia każdego miesiąca, aż do 5.10.2024. W okresie badań wykonano 5 zbiorów. Obsada zwierząt wynosiła 0,70 SD/1 ha. Wczesną wiosną 2024 r. pastwisko było nawożone dawką 60 kg N/ha, 55 kg P/ha i 84 kg K/ha. W tabeli 2 zamieszczono dane dotyczące sum opadów oraz średnich temperatur zanotowanych w Stacji Czyrna zarówno w okresie wegetacji, jak i w roku badań (2024). Suma roczna, jak i suma z okresu wegetacji była zbliżona do analogicznych wartości dla wielolecia 1961–1990. Zatem zarówno rok, jak i sezon wegetacyjny pod względem sum opadów za Kaczorowską [1962] można zaliczyć do przeciętnych.



Ryc. 1. Strefy wysokościowe oraz położenie użytków gruntowych na stoku doświadczalnym

Tabela 2. Sumy opadów oraz średnie temperatury występujące w Stacji Czyrna w 2024 r.

| Lata             | Dekady | Miesiące |      |      |      |      |       |       |      |       |      |      |      | IV–VIII | I–XII |
|------------------|--------|----------|------|------|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|---------|-------|
|                  |        | I        | II   | III  | IV   | V    | VI    | VII   | VIII | IX    | X    | XI   | XII  |         |       |
| Opady (mm)       |        |          |      |      |      |      |       |       |      |       |      |      |      |         |       |
| 2024             | 1      | 19,6     | 26,7 | 13,3 | 21,6 | 16,6 | 80,9  | 4,3   | 69,1 | 18,1  | 18,6 | 16,7 | 12,6 |         |       |
|                  | 2      | 12,9     | 29,5 | 29,2 | 23,2 | 24,1 | 25,6  | 63,8  | 5,7  | 101,3 | 17,7 | 18,2 | 16,7 |         |       |
|                  | 3      | 21,2     | 15,5 | 19,2 | 32,1 | 18,8 | 17,3  | 28,2  | 9,7  | 15,4  | 15,4 | 11,8 | 12,5 |         |       |
|                  | x      | 53,7     | 71,7 | 61,7 | 76,9 | 59,5 | 123,8 | 96,3  | 84,5 | 134,8 | 51,7 | 46,7 | 41,8 | 441,0   | 903,1 |
| 1961–1990        |        | 43,9     | 39,4 | 45,7 | 62,0 | 99,6 | 118,6 | 111,2 | 91   | 76,6  | 54,7 | 42,6 | 53,6 | 482,3   | 838,9 |
| Temperatura (°C) |        |          |      |      |      |      |       |       |      |       |      |      |      |         |       |
| 2024             | 1      | –1,1     | –2,8 | –1,6 | 2,6  | 13,2 | 17,2  | 18,2  | 20,4 | 14,3  | 8,7  | 4,1  | 0,3  |         |       |
|                  | 2      | –2,9     | –0,9 | –0,2 | 4,7  | 15,2 | 17,5  | 25,8  | 24,5 | 12,0  | 7,1  | 2,6  | –1,3 |         |       |
|                  | 3      | –4,4     | 0,1  | 0,4  | 6,8  | 16,9 | 18,9  | 24,2  | 22,1 | 10,4  | 7,0  | 1,1  | 0,4  |         |       |
|                  | x      | –2,8     | –1,2 | –0,3 | 4,7  | 15,1 | 17,8  | 22,7  | 22,3 | 12,2  | 7,6  | 3,2  | –0,2 | 16,3    | 8,35  |
| 1961–1990        | x      | –4,4     | –3,2 | 1,2  | 6,2  | 11,5 | 14,2  | 16,0  | 14,8 | 11,2  | 7,0  | 0,9  | –2,7 | 12,6    | 6,06  |



W celu określenia istotności różnic pomiędzy średnimi obiektowymi wykorzystano analizę wariancji. W trakcie obliczeń zastosowano test Tukeya, dla poziomu istotności  $\alpha = 0,05$ . Dla określenia związku wzrastającej wysokości nad poziomem morza a plonem suchej masy runi pastwiskowej wykorzystano analizę regresji prostej (ryc. 1).

Przystępując do analizy danych liczbowych, które zostały zapisane w tabeli 3, można stwierdzić, że sumy opadów w miesiącach decydujących o plonie runi łąkowo-pastwiskowej, to jest w maju oraz w czerwcu, były wystarczające dla uzyskania optymalnych przyrostów runi łąkowo-pastwiskowej. Nieznaczny niedobór opadów dla łąki i pastwiska wystąpił w miesiącach: maj i październik. Można zauważyć, że zarówno sumy, jak i rozkład opadów w sezonie wegetacyjnym w roku 2024 były sprzyjające dla uzyskania zadawalającego plonu suchej masy runi łąkowo-pastwiskowej.

Tabela 3. Opady optymalne dla łąk i pastwisk w mm według Wohltmanna [za: Dzieżyc 1970]

| Wyszczególnienie | Miesiące |      |       |       |      |      |       |       | Suma  |
|------------------|----------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|
|                  | XI–III   | IV   | V     | VI    | VII  | VIII | IX    | X     |       |
| Opady            | 275,6    | 76,9 | 59,5  | 123,8 | 96,3 | 85,4 | 134,8 | 51,7  | 903,1 |
| Łąka             | 240      | 60   | 75    | 60    | 75   | 60   | 40    | 60    | 670   |
| Nadmiar          | 35,6     | 16,9 |       | 63,8  | 21,3 | 25,4 | 94,8  |       | 257,8 |
| Niedobór         | –1,8     |      | –15,5 |       |      |      |       | –8,3  | –25,6 |
| Opady            | 275,6    | 76,9 | 59,5  | 123,8 | 96,3 | 85,4 | 134,8 | 51,7  | 903,1 |
| Pastwisko        | 250      | 60   | 70    | 70    | 90   | 90   | 70    | 70    | 770   |
| Nadmiar          | 25,6     | 16,9 |       | 53,8  | 36,3 |      | 64,8  |       | 197,4 |
| Niedobór         |          |      | –10,5 |       |      | –4,6 |       | –18,3 | –24,2 |

Drzewostan pokrywał pastwisko na badanym obszarze w sposób równomierny. Był to rzadki las wielogatunkowy iglasto-liściasty, który można zaliczyć do buczyny karpackiej. Główną rolę w drzewostanie odgrywał świerk 31%, następnie buk 29%, jodła 28%, sosna 12%.

## Wyniki i dyskusja

Dane zamieszczone w tabeli 4 wskazują, iż plon suchej masy runi łąkowo-pastwiskowej ulegał zmniejszeniu wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza. Wynik ten jest podobny do uzyskanego w Beskidach przez Jagłę [1983]. Zbliżone wyniki badań uzyskali również Kostuch i Janeczko [1980].

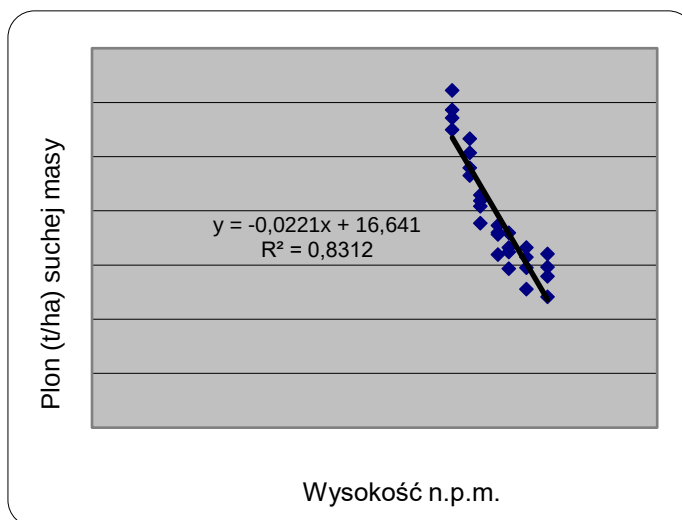
Tabela 4. Wpływ wysokości nad poziomem morza na plon suchej masy ( $t \cdot ha^{-1}$ ) runi pastwiskowej pastwiska sylwopastoralnego dla bydła mlecznego

| Wyszczególnienie | Wysokość nad poziomem morza (m) |      |      |      |      |      |      | Średnio |
|------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|---------|
|                  | 510                             | 535  | 550  | 575  | 590  | 615  | 645  |         |
| Pastwisko        | 5,82                            | 4,96 | 4,08 | 3,52 | 3,27 | 2,99 | 2,84 | 3,92    |
| NIR              | 0,663                           |      |      |      |      |      |      |         |

Z analizy wariancji wynika, iż plon suchej masy stwierdzony u podstawy stoku (510 m n.p.m.) był blisko 2,05-krotnie większy od plonu uzyskanego w najwyższym (645 m n.p.m.) położeniu pastwiska. Plon uzyskany na wysokości 510 m n.p.m. był większy od stwierdzonego na wysokości 535 m n.p.m.

Stwierdzone rezultaty przedmiotowych badań potwierdzają wyniki doświadczeń Klimy [2000]. Z badań cytowanego autora przeprowadzonych w warunkach Beskidu Niżskiego wynika, że na użytkowanych rolniczo stokach największe plony występują w dolnej części stoku. Według cytowanego autora zasadniczą przyczyną jest tu wieloletnie funkcjonowanie procesu stokowego. Istotą tego procesu jest erozyjne przemieszczanie żyznych cząstek glebowych, jak również materii organicznej oraz składników pokarmowych (głównie przyswajalnych form fosforu i potasu) z wyższych partii stoku w kierunku ku dolinie. Również Kopeć [1993] upatruje głównej przyczyny zróżnicowania plonowania na użytkowanych rolniczo stokach jako funkcji następczej procesu stokowego.

Oceniając wyniki analizy regresji prostej, można stwierdzić, że przeciętne zmniejszenie wydajności plonu suchej masy runi łąkowo-pastwiskowej wyniosło 22,1 kg na 100 m zwiększenia wysokości. Oznacza to 2,22% na każde 100 m zwiększenia wysokości nad poziomem morza. Regresja istotna była na poziomie prawdopodobieństwa  $\alpha = 0,01$ . Otrzymane w wyniku analizy regresji prostej równanie otrzymało zapis:  $y = -0,0221x + 16,641$ ,  $n = 28$ ,  $R^2 = 0,8312$ ;  $r = -0,91$  (ryc. 2). Według Guilforda [1984] jest to korelacja bardzo wysoka, a zależność bardzo pewna.



Ryc. 2. Wpływ wysokości n.p.m. na plon ( $t \cdot ha^{-1}$ ) suchej masy runi pastwiskowej

## Wnioski

1. Przeciętny plon suchej masy runi pastwiskowej w warunkach sylwopastoralnie użytkowanego pastwiska dla bydła mlecznego wyniósł  $3,92 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .
2. Obniżenie plonu suchej masy runi pastwiskowej w warunkach sylwopastoralnie użytkowanego pastwiska dla bydła mlecznego w wyniku zwiększenia wysokości n.p.m. charakteryzuje równanie regresji prostej:  $y = -0,0221x + 16,64$ ,  $n = 28$ ,  $R^2 = 0,8312$ ;  $r = -0,91$ , co oznacza korelację bardzo wysoką, a zależność bardzo pewną.
3. W miarę zwiększania wysokości na każde 100 m n.p.m. obniża plonu suchej masy runi pastwiskowej wynosiła 22,2%.
4. Plon suchej masy stwierdzony u podstawy stoku (510 m n.p.m.) był blisko 2,0-krotnie większy od plonu uzyskanego w najwyższym (645 m n.p.m.) położeniu pastwiska.

## Bibliografia

- Bański J., 2007. Geografia rolnictwa Polski. Wyd. PWE, Warszawa, 249.
- Bobiec A., Kuberski Ł., Tobiasz-Salach R., Zaguła G., Wolański P., Dołęga A., Wójcik S., Murania T., Borek R., 2024. Bringing back cattle grazing to abandoned farmlands. A Lesson from silvo-pastoral ecological intensification in the landscape of the Carpathian foothill, SE Poland. Sylwan 168 (3), 198–219, <https://doi.org/10.26202/sylwan.2023112>
- Chowaniak M., Głęb T., Klima K., Niemiec M., Zaleski T., Zuzek D., 2020. Effect of tillage and crop management on runoff, soil erosion, and organic carbon loss. Soil Use Manage. 36(4), 581–593, <https://doi.org/10.1111/sum.12606>
- Dzierżyńska A., 2011. Agroleśnictwo w Europie, zacofanie czy postęp. PNR 4, 129–141.
- Dzieżyc J., 1970. Deszczowanie roślin. PWRiL, Warszawa, 1–328.
- Gąsiorek S., Kopeć S., Kostuch R., 2000. Korzyści energetyczne uzyskiwane z sylwopastoralnego użytkowania terenu. Zesz. Nauk. AR Kraków, 368, 63–68.
- Gąsiorek S., Kostuch R., 1994. Korzyści wynikające z „Agroforestry”, czyli zintegrowanego, pa-stwiskowo-leśnego użytkowania terenu. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 415, 235–240.
- Guilford J.P., 1984. Podstawowe metody statystyczne. PWN, Warszawa, 92.
- Ilnicki P., 2004. Polskie rolnictwo a ochrona środowisk. Wyd. AR w Poznaniu, 485.
- Jagła S., 1983. Możliwości wykorzystania zasiewanych użytków zielonych w gospodarce pastwi-skowej terenów górskich. Mat. Konf. nt. Możliwości zwiększenia produkcji pasz na użytkach zielonych podstawą rozwoju pogłowia bydła i owiec. WOPR Łodygowice, 11–21.
- Kaczorowska Z., 1962. Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. Prace Geogr. IG PAN, 33, 1–107.
- Kasperczyk M., Klima K., 2025. Harmful effects of creeping thistle (*Cirsium arvense* (L.) Scop) in winter wheat cultivation. Ann. Univ. Paedagog. Crac., Stud. Naturae 10(1), 1–11.
- Klima K., 2000. Produkcyjność i przeciwerozryjna skuteczność płodozmianów w warunkach gór-skich południowo-zachodniej części Beskidu Niskiego. Zesz. Nauk. AR Kraków 258, 1–96.
- Klima K., Kasperczyk M., 2009. Gospodarka rolna na terenach górskich. PWSZ Sanok.
- Klima K., Kliszcz A., Puła J., Lepiarczyk A., 2020a. Yield and profitability of crop production in mountain less favoured areas. Agronomy 10(5), 1–10, <https://doi.org/10.3390/agro-nomy10050700>
- Klima K., Puła J., Kliszcz A., 2022. Effect of conventional and organic farming on crop yielding and water erosion intensity on sloping farmland. Agron. Sci. 77(3), 41–52, <https://doi.org/10.24326/as.2022.3.3>
- Klima K., Synowiec A., Puła J., Chowaniak M., Puzynska K., Gala-Czekaj D., Kliszcz A., Gal-bas P., Jop B., Dabkowska T., Lepiarczyk A., 2020b. Long-term productive, competitive and

- economic aspects of spring cereal mixtures in integrated and organic crop rotations. *Agriculture* 10(6), 231, <https://doi.org/10.3390/agriculture10060231>
- Kopeć S., 1993. Plonowanie łąk górskich w doświadczeniach statycznych w zależności od nawożenia i wzniesienia nad poziom morza. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Sesja Nauk.* 37, 207–220.
- Kostuch R., Janeczko A., 1980. Influence of the altitude above sea level on the yield botanical composition and chemical constitution of hay. *Proc. 8th Gen. Meet. EGF. Zagreb: EGFA*, 126–130.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z., 1990. *Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego*. PWRiL, 619.
- Puła J., Klima K., Kliszcz A., Lepiarczyk A., 2024. Anti-erosion effectiveness of selected crops in sustainable mountain agriculture in a warming climate. *Sustainability* 2024, 16, 8212, <https://doi.org/10.3390/su16188212>
- Pużyńska K., Synowiec A., Pużyński S., Bocianowski J., Klima K., Lepiarczyk A., 2021. The Performance of Oat-Vetch Mixtures in Organic and Conventional Farming Systems. *Agriculture* 11, 332, <https://doi.org/10.3390/agriculture11040332> /Agriculture/
- Tyburski J., Żakowska-Biemans S., 2007. *Wprowadzenie do rolnictwa ekologicznego*. SGGW, Warszawa, 280.
- Vandermeulen S., Ramírez-Restrepo C.A., Beckers Y., Claessens H., Bindelle J., 2018. Agroforestry for ruminants: a review of trees and shrubs as fodder in silvopastoral temperate and tropical production systems. *Anim. Prod. Sci.* 58(5), 767–777, <https://doi.org/10.1071/AN16434>
- Zajac T., Budzyński W., 2010. *Rośliny oleiste*. PWRiL, Poznań, 93.

## Wpływ biopreparatu zawierającego bakterie z rodzaju *Bacillus* na mikrobiologiczną jakość gleby

Effect of a biopreparation containing bacteria of the genus *Bacillus*  
on the microbiological quality of the soil

### Wstęp

Tradycyjne, chemiczne środki ochrony roślin wspierają produkcję rolniczą, jednakże jednocześnie wywierają niekorzystny wpływ na środowisko. Jednym ze sposobów przeciwdziałania negatywnym skutkom działania pestycydów w środowisku jest stosowanie biopreparatów zawierających mikroorganizmy i/lub produkty ich metabolizmu. Takie biopreparaty zawierają drobnoustroje, które działają antagonistycznie wobec patogenów i szkodników roślin oraz takie, które stymulują aktywność biologiczną gleb i korzystnie wpływają na wzrost i plonowanie roślin [Gałązka 2023]. Biopreparaty dzieli się na: bionawozy, biopestycydy, biostymulatory oraz preparaty mikrobiologiczne. Jednakże granica pomiędzy tymi grupami biopreparatów nie jest jednoznaczna [Gałązka 2023]. Szczególną grupę stanowią biopestycydy, nazywane potocznie mikrobiologicznymi środkami ochrony roślin bądź bioaktywnymi związkami. W ich skład wchodzi drobnoustroje (bakterie, wirusy, grzyby, pierwotniaki, nicienie) i/lub produkty szlaków metabolicznych bądź syntez biochemicznych roślin i zwierząt (np. metabolity, olejki, feromony) [Glare i in. 2012, Gałązka 2023]. Według Sudakin i in. [2003] biopestycydy ze względu na składnik aktywny można podzielić na trzy główne klasy: (i) pestycydy mikrobiologiczne zawierające różnego rodzaju drobnoustroje, które występują naturalnie bądź są rekombinowane genetycznie, (ii) środki ochronne wbudowane w rośliny (*plant-incorporated protectants*, PIP), które obejmują włączony do rośliny materiał genetyczny, zwiększając tym samym odporność roślin na szkodniki oraz czynniki stresowe środowiska, (iii) pestycydy biochemiczne, stanowiące naturalnie występujące w roślinach związki chemiczne. Natomiast Martyniuk [2012] klasyfikuje te preparaty na podstawie składu i sposobu działania. Biobakteriocydy wykorzystywane są do zwalczania szkodliwych bakterii. Biofungicydy zwalczają grzyby fitopatogeniczne, a bioherbicydy chwasty oraz niepożądaną roślinność. Bioinsektycydy ograniczają występowanie szkodników owadów, a bionematocydy pomagają w zwalczaniu nicieni. Na rynku znaleźć można wiele dostępnych biopreparatów zawierających mikroorganizmy. Najskuteczniejszymi, wykorzystywanymi w ich produkcji są bakterie należące do rodzajów *Bacillus* i *Pseudomonas* oraz grzyby rodzajów

---

<sup>1</sup> Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Agrobioinżynierii, Katedra Mikrobiologii Środowiskowej, Studenckie Koło Naukowe Mikrobiologów „Mikrobios”, paulinamwac@gmail.com

<sup>2</sup> Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Agrobioinżynierii, Katedra Mikrobiologii Środowiskowej

*Trichoderma*, *Beauveria*, *Coniothyrium*, *Metarhizium* i *Pythium* [Martyniuk 2011]. Zadaniami tych drobnoustrojów jest ograniczenie populacji szkodników i ochrona roślin przed ich niepożądaną działalnością. Stosowane w postaci oprysków, podlewania, zapraw nasiennych czy granulatów, mogą stanowić ważny element ekologicznego zwalczania patogenów oraz naturalną alternatywę dla syntetycznych pestycydów, których pozostałości zakłócają zrównoważone funkcjonowanie ekosystemu glebowego [Glare i in. 2012].

Celem pracy było oznaczenie dynamiki zmian liczebności bakterii i grzybów w glebie oraz aktywności oddechowej i odczynu gleby po wprowadzeniu dostępnego na rynku krajowym biopreparatu.

## Material i metody

### Ogólna charakterystyka badanego biopreparatu i gleby

W badaniach wykorzystano wodny roztwór biopreparatu zawierającego różne szczepy bakterii z rodzaju *Bacillus*, o wyjściowym pH równym 3,96. Wpływ zastosowanego środka na mikrobiologiczną aktywność gleby określono w glebie o uziarnieniu piasku gliniastego, która według World Reference Base of Soil Resources (WRB) [2015] została sklasyfikowana jako Cambisol. W niniejszej pracy umownie określono ją jako glebę piaszczystą. Dokładną charakterystykę wykorzystanego biopreparatu oraz gleby zamieszczono odpowiednio w pracy Wac i in. [2023] oraz Bohacz i in. [2022].

### Model doświadczalny

Doświadczenie prowadzono w laboratorium w doniczkach o pojemności 0,5 l, w których umieszczono po 200 g gleby przesianej przez sita o średnicy oczek 2 mm. Glebę regularnie nawilżano do poziomu 60% całkowitej pojemności wodnej. Analizowane warianty doświadczalne przedstawiono w tabeli 1. Sposób przygotowania biopreparatu zamieszczono w pracy Wac i in. [2023]. Okresowo, po 3, 14, 30 i 60 dniach prowadzenia doświadczenia oznaczono w glebie ogólną liczebność bakterii i grzybów, pH oraz aktywność oddechową.

Tabela 1. Warianty doświadczenia modelowego

| Wariant doświadczalny             | Oznaczenie         |
|-----------------------------------|--------------------|
| Gleba + woda destylowana          | G <sub>w</sub> *   |
| Gleba + woda destylowana + rzepak | G <sub>w</sub> R** |
| Gleba + biopreparat               | G <sub>B</sub>     |
| Gleba + biopreparat + rzepak      | G <sub>B</sub> R   |

Objaśnienia: \* – kontrola I; \*\* – kontrola II

### Oznaczenie liczebności drobnoustrojów glebowych

Ogólną liczebność bakterii i grzybów w badanej glebie oznaczono metodą wysiewu seryjnych rozcieńczeń i metodą płytek lanych. Izolację bakterii prowadzono na podłożu z wyciągiem glebowym, a grzyby na podłożu Martina. Skład wykorzystanych pożywek

mikrobiologicznych i warunki prowadzenia hodowli zostały zamieszczone w pracy Wac i in. [2023].

### **Oznaczenie aktywności oddechowej i wartości pH gleby**

Aktywność respiracyjną określono metodą miareczkową, na podstawie pomiaru wydzielonego z gleby CO<sub>2</sub> w czasie 24 h inkubacji, zgodnie z metodyką Rühling i Tyler [1973]. Okresowego pomiaru pH gleby zawieszonej w 0,1 M roztworze KCl dokonano metodą potencjometryczną z wykorzystaniem pH-metru Elmetron CP-505.

### **Analiza statystyczna**

Analizę statystyczną przeprowadzono w programie Statistica ver. 13.3. Obejmowała ona wieloczynnikową analizę wariancji (ANOVA) oraz testy post-hoc Tukeya na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Celem przeprowadzonej analizy było określenie istotnych różnic pomiędzy mikrobiologicznymi, biochemicznymi i chemicznymi wskaźnikami aktywności gleby w czterech badanych wariantach doświadczalnych.

## **Wyniki i dyskusja**

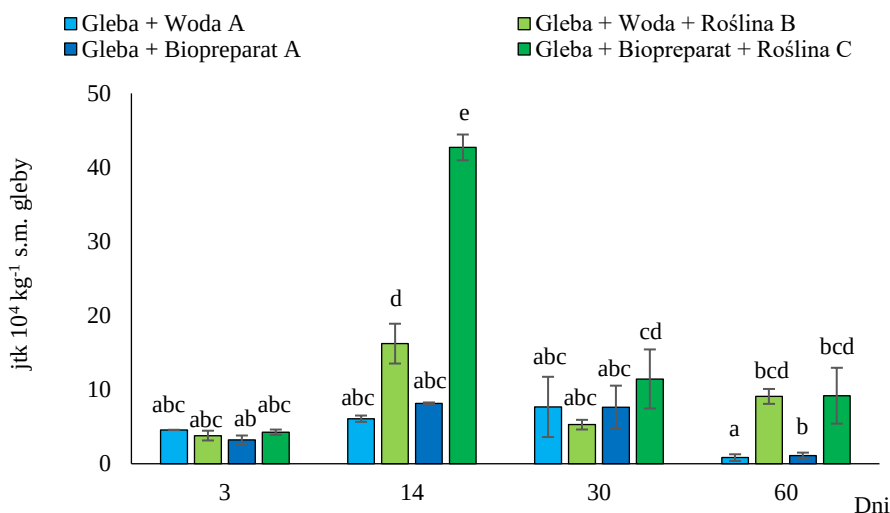
### **Ogólna liczebność bakterii glebowych**

Różnorodność, jak również liczebność mikroorganizmów stanowią ważne i czułe wskaźniki zmian środowiska glebowego. Mikroorganizmy glebowe uczestniczą w przemianach składników gleby do form mających znaczenie pokarmowe dla roślin, tym samym wpływając na ich wzrost i rozwój [Natywa i in. 2010]. Zakłócenie równowagi w układzie biocenotycznym, jakim jest gleba, doprowadza do zmian jej aktywności biologicznej. Zdrowie gleby odnosi się do jej biologicznych, chemicznych i fizycznych cech, które są niezbędne do długoterminowej, zrównoważonej produktywności rolniczej przy minimalnym wpływie na środowisko [Arias i in. 2005]. Ważną rolę w zachowaniu zdrowotności gleby odgrywają przyjazne środowisku metody wspomagające produkcję rolniczą. Bakterie z rodzaju *Bacillus* wchodzące w skład biopreparatów stymulują wzrost i rozwój roślin m.in. dzięki zwiększaniu dostępności trudno przyswajalnych form NPK, produkcję fitohormonów czy ograniczaniu rozwoju fitopatogenów dzięki produkcji sideroforów [Saxena i in. 2019]. W badaniach własnych wykazano, że ogólna liczebność bakterii ulegała dynamicznym zmianom wraz z czasem prowadzenia doświadczenia we wszystkich wariantach doświadczalnych. Najbardziej znaczący, istotny statystycznie ( $\alpha = 0,05$ ) wzrost stwierdzono w wariancie G<sub>BR</sub> między 3. a 14. dniem prowadzenia doświadczenia, po którym nastąpił istotny spadek (ryc. 1). Jednocześnie w tym wariancie liczebność badanych mikroorganizmów była najwyższa i wynosiła  $4,3 \times 10^5$  jtk  $\times$  kg<sup>-1</sup> s.m. gleby. W pracy Możejko i Bohacz [2023] wykazano, że hydrolizat keratynowy pierza stymulował liczebność bakterii w całym okresie trwania eksperymentu, co szczególnie uwidoczniło się między 30. a 60. dniem w wariancie wzbogaconym hydrolizatem i nieobsadzonym rzepakiem. Cytowani autorzy notowali wtedy liczebność badanych mikroorganizmów powyżej  $200 \times 10^7$  jtk  $\times$  kg<sup>-1</sup> s.m. gleby [Możejko i Bohacz 2023].

W odniesieniu do pełnego okresu trwania eksperymentu, tj. między 3. a 60. dniem prowadzenia doświadczenia, odnotowano wzrost liczebności bakterii w obu wariantach obsadzonych rzepakiem. Wzrost ten względem pierwszego terminu wynosił 139%

i 116%, odpowiednio dla wariantu bez dodatku ( $G_W R$ ) i z dodatkiem biopreparatu ( $G_B R$ ). W glebie nieobsadzonej rośliną odnotowano natomiast spadek ogólnej liczebności bakterii o 82% ( $G_W$ ) i 66% ( $G_B$ ) (ryc. 1). Chang i in. [2007] wskazują, że spadek liczebności mikroorganizmów może być w takich sytuacjach uwarunkowany obok zmian wartości pH również wyczerpywaniem się łatwo przyswajalnych przez mikroorganizmy składników pokarmowych.

Wprowadzony do gleby biopreparat istotnie ( $\alpha = 0,05$ ), bo aż o 97% stymulował rozwój bakterii glebowych w glebie obsadzonej rzepakiem ( $G_B R$ ) względem kontroli II. W przypadku próbek gleby nieobsadzonych rośliną ( $G_B$ ) zanotowano nieistotny statystycznie, korzystny wpływ biopreparatu. Względem kontroli I wynosił on zaledwie 5% (ryc. 1). Przeciwnie wyniki uzyskano w pracy Wac i in. [2023], w której to biopreparat zawierający bakterie *Bacillus* skuteczniej stymulował liczebność bakterii w glebie gliniastej obsadzonej rzepakiem, natomiast jego wprowadzenie do gleby bez obsady tej rośliny hamowało ich liczebność.



Objaśnienia: litery małe, tj. a, b, c, d, e, oraz duże, tj. A, B, C, odnoszą się odpowiednio do średnich tworzących grupy jednorodnej, a także analizowanych wariantów i terminów doświadczalnych (test post-hoc HSD-Tukey dla ANOVA wieloczynnikowej). Jeżeli dwie średnie mają przypisaną tę samą literę, np. a, a; A, A lub ab, ab; AB, AB, to znaczy, że nie różnią się między sobą istotnie (przy  $\alpha = 0,05$ ); jeśli porównywane średnie mają przypisane różne litery, np. A i B lub ab i cd, to znaczy, że średnie różnią się między sobą istotnie (przy  $\alpha = 0,05$ ).

Ryc. 1. Zmiany ogólnej liczebności bakterii zasiedlających glebę piaszczystą ( $jtk \times kg^{-1}$  s.m. gleby)

### Ogólna liczebność grzybów glebowych

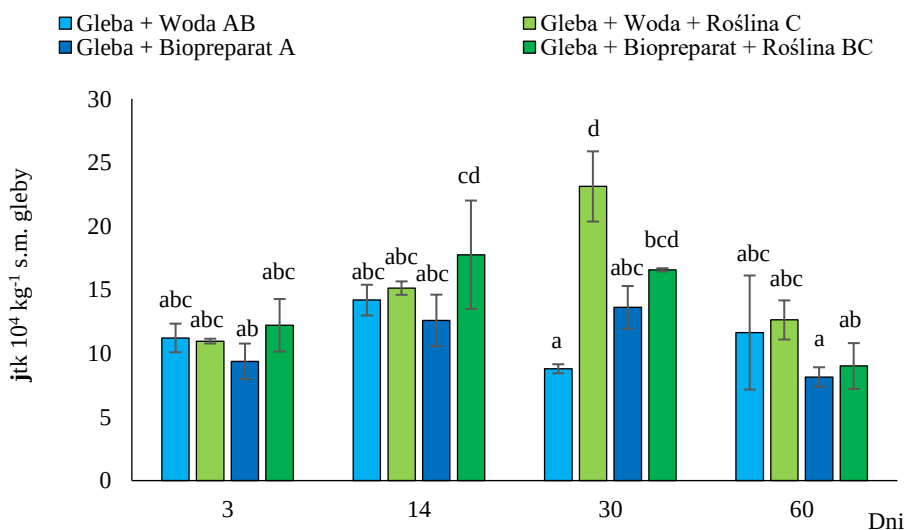
Grzyby determinują jakość i żyzność gleby dzięki zwalczaniu patogenów, uwalnianiu składników odżywczych z trudno przyswajalnych kompleksów oraz tworzeniu próchnicy. Grzyby mają dużą zdolność do adaptacji w odpowiedzi na niekorzystne warunki ekosystemu glebowego [Singh i in. 2020]. Ogólna liczebność grzybów glebowych w badaniach własnych rosła na ogół do 14. dnia prowadzenia doświadczenia w wariantach  $G_W$  oraz  $G_B R$ , a także do 30. w wariantach  $G_W R$  i  $G_B$ . Po tym czasie ich liczebność na ogół ulegała spadkowi, co było najbardziej widoczne i statystycznie istotne ( $\alpha = 0,05$ ) w glebie



niewzbogaconej biopreparatem, lecz obsadzonej rośliną (ryc. 2). Jak wynika z badań przeprowadzonych przez Możejko i Bohacz [2023], liczebności grzybów w glebie piaszczystej wzbogaconej hydrolizatem keratynowym osiągały wartości maksymalne po dniach od wprowadzenia badanego środka do gleby. W przypadku jego braku cytowani autorzy stwierdzili natomiast najwyższą liczebność grzybów w 3. i 60. dniu prowadzenia doświadczenia, odpowiednio dla wariantu bez i z obsadą rzepaku [Możejko i Bohacz 2023].

W niniejszych badaniach, w okresie pomiędzy 3. a 60. dniem eksperymentu, wzrost liczebności badanych mikroorganizmów stwierdzono jedynie w wariantach bez dodatku biopreparatu. Wzrost ten wynosił odpowiednio 4% i 15% dla wariantów gleby zwilżonej wodą bez ( $G_W$ ) i z obsadą rzepaku ( $G_{WR}$ ). Wprowadzony do gleby biopreparat spowodował natomiast spadek liczebności zasiedlających glebę mikrogrzybów o 13% i 26%, odpowiednio w wariantcie bez rośliny ( $G_B$ ) i z jej obsadą ( $G_{BR}$ ) (ryc. 2). Z badań Wac i in. [2023] wynika, że liczebność grzybów także w glebie gliniastej w ciągu trwającego 60 dni doświadczenia spadała, niezależnie od wprowadzenia do gleby biopreparatu zawierającego bakterie z rodzaju *Bacillus*. Ponadto wprowadzony biopreparat silniej ograniczał liczebność badanych mikroorganizmów przy jednoczesnym braku uprawy rzepaku.

W ogólnym ujęciu wprowadzenie do gleby piaszczystej biopreparatu zawierającego bakterie *Bacillus* sp. spowodowało zmniejszenie średniej liczebności zasiedlających je grzybów strzępkowych. Względem kontroli I i II zastosowany biopreparat ograniczył liczebność badanych mikroorganizmów odpowiednio o 5% ( $G_B$ ) i 10% ( $G_{BR}$ ) (ryc. 2).



Objaśnienia jak do ryc. 1.

Ryc. 2. Zmiany ogólnej liczebności grzybów zasiedlających glebę piaszczystą ( $jtk \times kg^{-1}$  s.m. gleby)

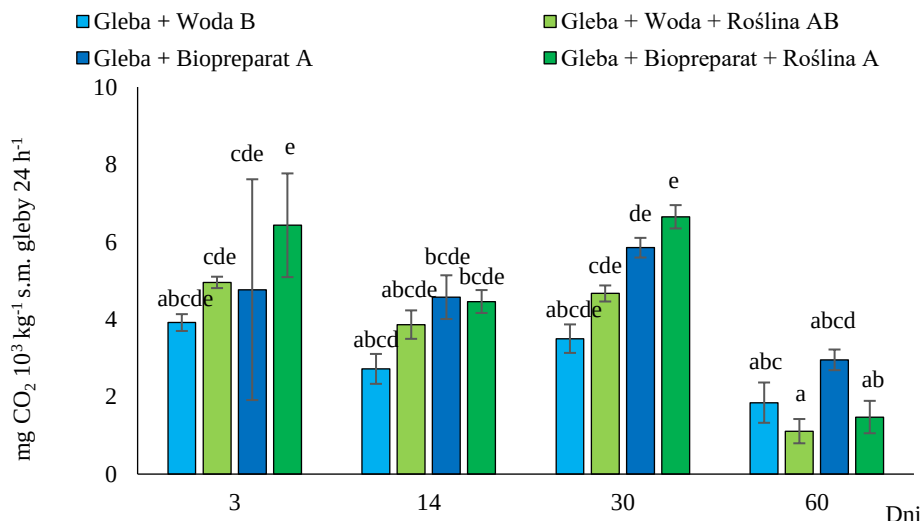
### Aktywność respiracyjna

Zdaniem Zou i in. [2024] istnieje wiele biotycznych i abiotycznych czynników wpływających na intensywność glebowej respiracji. Autorzy zaliczają do nich przede

wszystkim liczebność mikrobioty glebowej oraz fazę wegetacyjną uprawianych na glebie roślin. Mierzona ilością wydzielonego z gleby piaszczystej CO<sub>2</sub> aktywność oddechowa na ogół spadała do 14. dnia doświadczenia, a następnie rosła do dnia 30. Między 30. a 60. dniem nastąpił ponowny spadek aktywności oddechowej, co było istotne statystycznie ( $\alpha = 0,05$ ) jedynie w wariantach obsadzonych rzepakiem, tj. G<sub>WR</sub> i G<sub>BR</sub> (ryc. 3). Najwyższą aktywność respiracyjną notowano dla wariantów wzbogaconych biopreparatem w 30. dniu (G<sub>B</sub> oraz G<sub>BR</sub>), zaś wariantów bez jego dodatku (G<sub>W</sub> oraz G<sub>WR</sub>) w 3. dniu trwania doświadczenia. Zou i in. [2024] twierdzą, że aktywność ta jest bezpośrednio pozytywnie powiązana z liczebnością bakterii glebowych.

Analizując w badaniach własnych zmiany aktywności oddechowej między 3. a 60. dniem stwierdzono, że w wariantach wzbogaconych i niewzbogaconych biopreparatem, lecz obsadzonych rośliną aktywność ta ulegała osłabieniu o odpowiednio 77% (G<sub>BR</sub>) i 78% (G<sub>WR</sub>). W przypadku wariantów nieobsadzonych rośliną spadek ten był mniej znaczący i wynosił 53% i 38% odpowiednio dla wariantu G<sub>W</sub> i G<sub>B</sub> (ryc. 3). W badaniach Możejko i Bohacz [2023] wykazano, że aktywność oddechowa gleby piaszczystej, traktowanej i nietraktowanej hydrolizatem keratynowym, malała między 3. a 30. dniem, a następnie rosła aż do 60. dnia, w którym osiągała najwyższe wartości.

Wzbogacenie gleby piaszczystej biopreparatem wywierało korzystny wpływ na średnią aktywność respiracyjną niezależnie od obsady rośliny. W odniesieniu do gleby nieobsadzonej rzepakiem i kontroli I był to istotny statystycznie ( $\alpha = 0,05$ ) wzrost o 51%, natomiast względem gleby ze wzrostem rzepaku i kontroli II wynosił on jedynie 30% i nie był statystycznie istotny ( $\alpha = 0,05$ ) (ryc. 3). Z poprzednich badań zamieszczonych w pracy Wac i in. [2023] wynika, że w glebie gliniastej notowano przeciwny wpływ biopreparatu zawierającego komórki *Bacillus*. Ponadto w badaniach własnych uprawa rośliny na glebie piaszczystej osłabiała wywierany przez biopreparat efekt, co było zbliżone z wynikami uzyskanymi na glebie gliniastej przez Wac i in. [2023].



Objaśnienia jak do ryc. 1.

Ryc. 3. Zmiany aktywności oddechowej gleby piaszczystej ( $\text{mg CO}_2 \times \text{kg}^{-1} \text{ s.m. gleby } 24 \text{ h}^{-1}$ )

## Zmiany pH gleby

Ważnym czynnikiem, który determinuje kierunek zmian wartości pH gleby wzbogacanej środkami nawozowymi, jest zdaniem Chang i in. [2007] oraz Możejko i Bohacz [2023] skład i odczyn stosowanego środka nawozowego. W każdym z analizowanych wariantów doświadczalnych, pH gleby istotnie ( $\alpha = 0,05$ ) rosło wraz z czasem prowadzenia doświadczenia. Wyjątek stanowił wariant gleby wzbogacanej biopreparatem, bez obsady rzepaku ( $G_B$ ), w którym to między 3. a 14. dniem odnotowano nieistotny statystycznie spadek pH (tab. 2). Hydrolizat keratynowy wprowadzony do gleby piaszczystej przez Możejko i Bohacz [2023] powodował okresowy spadek pH w tej glebie pomiędzy 3. a 60. dniem doświadczenia.

Wzrost wartości pH w odniesieniu do całego okresu prowadzenia doświadczenia, tj. między 3. a 60. dniem, był najwyższy (10%) w wariantach obsadzonych rzepakiem niezależnie od zastosowanego nawożenia ( $G_{WR}$  i  $G_{BR}$ ). Najniższy wzrost, tj. 7%, odnotowano natomiast w glebie nieobsadzonej rośliną lecz wzbogacanej biopreparatem  $G_B$  (tab. 2). W badaniach przeprowadzonych na glebie gliniastej Wac i in. [2023] wykazali najwyższy wzrost wartości pH w glebie spod uprawy rzepaku niewzbogacanej biopreparatem, natomiast najniższy w przypadku gleby z jego dodatkiem, ale bez obsady rośliny.

Zastosowany środek nawożeniowy spowodował wzrost średniej wartości pH badanej gleby w ujęciu do obu kontroli (I i II) o 1%.

Tabela 2. Zmiany wartości pH gleby piaszczystej w różnych wariantach doświadczalnych

| Wariant doświadczalny                       | Dni                      |                           |                            |                            |
|---------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                             | 3 <sup>A</sup>           | 14 <sup>A</sup>           | 30 <sup>B</sup>            | 60 <sup>C</sup>            |
| Gleba + Woda <sup>AB</sup>                  | 3,70 ± 0,01 <sup>a</sup> | 3,71 ± 0,01 <sup>a</sup>  | 3,84 ± 0,01 <sup>abc</sup> | 4,04 ± 0,02 <sup>de</sup>  |
| Gleba + Woda + Roślina <sup>C</sup>         | 3,74 ± 0,01 <sup>a</sup> | 3,76 ± 0,01 <sup>ab</sup> | 4,02 ± 0,12 <sup>de</sup>  | 4,11 ± 0,08 <sup>e</sup>   |
| Gleba + Biopreparat <sup>A</sup>            | 3,71 ± 0,01 <sup>a</sup> | 3,70 ± 0,01 <sup>a</sup>  | 3,81 ± 0,01 <sup>abc</sup> | 3,95 ± 0,01 <sup>cde</sup> |
| Gleba + Biopreparat + Roślina <sup>BC</sup> | 3,73 ± 0,02 <sup>a</sup> | 3,74 ± 0,01 <sup>a</sup>  | 3,92 ± 0,05 <sup>bcd</sup> | 4,11 ± 0,09 <sup>e</sup>   |

Objaśnienia jak do ryc. 1; duże litery, tj. A, B i C, odnoszą się do grup homogennych w ujęciu analizowanych wariantów i terminów doświadczalnych

## Wnioski

1. Biopreparat zawierający bakterie *Bacillus* sp. wprowadzany do gleby piaszczystej w warunkach modelowych oddziałuje korzystnie na liczebność zasiedlających glebę bakterii oraz intensywność oddychania gleby.

2. Zastosowany preparat nawożeniowy ogranicza liczebność obecnych w glebie piaszczystej grzybów niezależnie od zastosowanej rośliny lub jej braku.

3. Zastosowany komercyjny biopreparat powoduje istotny wzrost pH gleby piaszczystej wraz z czasem prowadzenia doświadczenia, utrzymując jego wartość w granicach kwaśnego odczynu.

4. Uprawiane na glebie piaszczystej rośliny rzepaku intensyfikują efekt wywierany przez biopreparat na zasiedlające to środowisko mikroorganizmy glebowe, a osłabiają go w przypadku przeprowadzanych przez nie procesów metabolicznych (wydzielanie CO<sub>2</sub>).

## Bibliografia

- Arias M.E., González-Pérez J.A., González-Vila F.J., Ball A.S., 2005. Soil health: A new challenge for microbiologists and chemists. *Int. Microbiol.* 8(1), 13–21.
- Bohacz J., Możejko M., Korniłowicz-Kowalska T., Siebielec G., 2022. Impact of ecological factors on the occurrence and spatial-taxonomic structure of keratinophilic fungi and their co-occurrence in arable soils. *Agriculture* 12(2), 194, <https://doi.org/10.3390/agriculture12020194>
- Chang E.H., Chung R.S., Tsai Y.H., 2007. Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. *Soil Sci. Plant Nutr.* 53(2), 132–140, <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00122.x>
- Frąc M., Lipiec J., Rutkowska A., Oszust K., Półtorak M., 2011. Właściwości mikrobiologiczne gleby pod uprawą pszenicy ozimej w systemach ekologicznym i konwencjonalnym. *Acta Agrophys.* 18(2), 245–254.
- Gałązka A., 2023. Poradnik preparaty mikrobiologiczne dla roślin rolniczych. Wydawnictwo IUNG Puławy, Puławy, <https://doi.org/10.26114/por.iung.2023.12.01>
- Glare T., Caradus J., Gelernter W., Jackson T., Keyhani N., Köhl J., Marrone P., Morin L., Stewart A., 2012. Have biopesticides come of age? *Trends Biotechnol.* 30(5), 250–258, <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.01.003>
- Martyniuk S., 2012. Czynniki wpływające na wykorzystanie biopestycydów mikrobiologicznych w ochronie roślin. *Prog. Plant Prot.* 52(4), 957–962, <http://doi.org/10.14199/ppp-2012-165>
- Martyniuk S., 2011. Skuteczne i nieskuteczne preparaty mikrobiologiczne stosowane w ochronie i uprawie roślin oraz rzetelne i nierzetelne metody ich oceny. *Post. Mikrobiol.* 50(4), 321–328.
- Możejko M., Bohacz J., 2023. Effect of keratin hydrolysates obtained from feather decomposition by *Trichophyton ajelloi* on plant germination, growth and biological activity of selected arable soils under model conditions. *Agronomy* 13(1), 187, <https://doi.org/10.3390/agronomy13010187>
- Natywa M., Sawicka A., Wolna-Maruwka A., 2010. Aktywność mikrobiologiczna i enzymatyczna gleby pod uprawą kukurydzy w zależności od zróżnicowanego nawożenia azotem. *Woda Śr. Obsz. Wiej.* 10(2), 111–120.
- Rühling Å., Tyler G., 1973. Heavy metal pollution and decomposition of spruce needle litter. *Oikos* 24(3), 402–416, <https://doi.org/10.2307/3543816>
- Saxena A.K., Kumar M., Chakdar H., Anuroopa N., Bagyaraj D.J., 2019. *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. *J. Appl. Microbiol.* 128(6), 1583–1594, <https://doi.org/10.1111/jam.14506>
- Semenov M.V., Zhelezova A.D., Ksenofontova N.A., Ivanova E.A., Nikitin D.A., Semenov V.N., 2025. Microbiological indicators for assessing the effects of agricultural practices on soil health: A review. *Agronomy* 15(2), 335, <https://doi.org/10.3390/agronomy15020335>
- Singh R., Upadhyay S.K., Sharma I., Kamboj P., Rani A., Kumar P., 2020. Assessment of enzymatic potential of soil fungi to improve soil quality and fertility. *Asian J. Biol. Life Sci.* 9(2), 163–168, <https://doi.org/10.5530/ajbls.2020.9.25>
- Sudakin D.L., 2003. Biopesticides. *Toxicol. Rev.* 22(2), 83–90, <https://doi.org/10.2165/00139709-200322020-00003>
- Wac P., Pietruszka N., Bąk Z., Krak M., Bohacz J., Możejko M., 2023. Ocena aktywności mikrobiologicznej gleby po wprowadzeniu dostępnego na rynku krajowym biopreparatu zawierającego bakterie z rodzaju *Bacillus*. W: M. Babicz, K. Kropiwiiec-Domańska (red.), *Wybrane zagadnienia z zakresu rolnictwa*, t. 3. Wyd. UP w Lublinie, Lublin, 59–67.
- World Reference Base of Soil Resources (WRB), 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. *World Soil Recourses Reports No. 106*. FAO, Rzym.
- Zou Y., Shan Y., Yue Z., Gioacchini P., Montecchio D., Gaggia F., Alberoni D., Baffoni L., Zhang Q., Xiong P., Marzadori C., Di Gioia D., 2024. Factors driving soil respiration rate after different fertilizer sources addition. *Agronomy* 14(11), 2468, <https://doi.org/10.3390/agronomy14112468>.