

**STUDIA I RAPORTY  
IUNG-PIB**

**67(21)**



**ROLNICTWO POLSKIE  
WOBEC WYZWAŃ KLIMATYCZNYCH**

DOTACJA CELOWA  
2022

Puławy 2022



INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

**STUDIA I RAPORTY  
IUNG-PIB**

**67(21)**

**ROLNICTWO W POLSCE  
WOBEC WYZWAŃ KLIMATYCZNYCH**

**DOTACJA CELOWA  
2022**

Puławy 2022

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: *prof. dr hab. Wiesław Oleszek*

Redakcja naukowa:

*dr Zuzanna Jarosz*

Autorzy:

*dr Robert Borek; dr hab. Magdalena Borzęcka; prof. dr hab. Antoni Faber;  
dr Zuzanna Jarosz; dr hab. Jerzy Kozyra; prof. dr hab. Stanisław Krasowicz;  
dr inż. Andrzej Madej; mgr Małgorzata Wydra; dr Katarzyna Żyłowska;  
mgr Tomasz Żyłowski*

Recenzenci:

*dr hab. Andrzej Doroszewski, prof. IUNG-PIB; prof. dr hab. Antoni Faber;  
dr Zuzanna Jarosz; prof. dr hab. Stanisław Krasowicz; prof. dr hab. Mariusz Matyka*

Opracowanie redakcyjne i techniczne: *mgr Katarzyna Mikulska*

Okładka: krajobraz okolic Rogowa (fot. *dr Anna Nieróbca*)

ISBN 978-83-7562-388-8

Publikacja elektroniczna

*Egzemplarz bezpłatny*

Nakład 300 egz., B5

Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB w Puławach

tel. (81) 47 86 720; fax (81) 47 86 721

e-mail: [iung@pulawy.pl](mailto:iung@pulawy.pl); <http://www.iung.pulawy.pl>

STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB

**ROLNICTWO W POLSCE  
WOBEC WYZWAŃ KLIMATYCZNYCH**



## SPIS TREŚCI

Wstęp .....	7
1. Żyłowska K., Kozyra J. – Zmiany warunków agroklimatycznych w Polsce .....	9
2. Żyłowski T. – Ślad węglowy głównych roślin uprawnych w Polsce .....	25
3. Borek R. – Agroleśnictwo – systemy rolnicze odporne na zmianę klimatu ...	37
4. Jarosz Z., Faber A. – Wielkość emisji gazów cieplarnianych w zależności od systemu uprawy .....	55
5. Jarosz Z., Faber A. – Wpływ WPR na wielkość redukcji emisji gazów cieplarnianych.....	67
6. Krasowicz S., Madej A. – Innowacyjność i konkurencyjność rolnictwa a środowisko .....	77
7. Borzęcka M., Wydra M. – Platforma AgEnergy na rzecz zrównoważonego rolnictwa .....	93
8. Faber A., Jarosz Z. – Analiza porównawcza współczynników stosowanych w szacunkach emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa w Polsce i wybranych krajach europejskich .....	107
9. Jarosz Z., Faber A. – Projekcja regionalnego zróżnicowania emisji amoniaku ze zużycia mineralnych nawozów azotowych .....	121
10. Jarosz Z., Faber A. – Regionalne zróżnicowanie i projekcja emisji amoniaku z gospodarowania nawozami naturalnymi .....	131



## Wstęp

Dynamika globalnego ocieplenia i zmian klimatu dały asumpt do podejmowania nowych wyzwań w celu zmniejszenia efektów zachodzących przemian. Nowym impulsem do opracowywania strategii w zakresie przeciwdziałania zmianom klimatu było zainicjowanie Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ). Jest to plan działania zmierzający do zbudowania zrównoważonej konkurencyjnej gospodarki i osiągnięcia w 2050 r. neutralności klimatycznej. Realizacja tego ambitnego celu obliguje państwa członkowskie do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do 2030 r. o co najmniej 55% w porównaniu z poziomem z 1990 r. Regulacje prawne dotyczące realizacji Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ) w marcu 2020 r. zapisano w „Europejskim prawie o klimacie”. Ma ono stanowić gwarancję, że wszystkie grupy społeczne i sektory gospodarki będą dążyły do celów wyznaczonych w EZŁ.

Funkcjonując w strukturach europejskich, prowadzimy politykę zgodną ze strategią UE, której podstawą jest dążenie do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i przeciwdziałanie zmianom klimatu. Sektor rolny najsilniej odczuwa skutki obserwowanych zmian klimatu, ponieważ działalność rolnicza zależy bezpośrednio od warunków klimatycznych. Zmiany temperatury i opadów (dostępność, nierównomierny rozkład w okresie wegetacyjnym), a także często ekstremalny przebieg warunków pogodowych (np. deszcze nawalne, susze, przymrozki wiosenne) wpływają na kształtowanie się plonów i wydajność zwierząt gospodarskich. Istotne jest zatem podejmowanie działań przyczyniających się zarówno do łagodzenia, jak i adaptacji do zmieniających się warunków klimatycznych.

Prezentowane materiały poruszają kluczowe zagadnienia dotyczące zmian warunków agroklimatycznych i konieczności dostosowania rolnictwa do nowych warunków oraz podejmowania innowacyjnych działań łączących zarówno możliwości adaptacji, jak i ograniczania zmian klimatu. Do oceny wpływu rolnictwa na środowisko zastosowano ślad węglowy. Oszacowano ślad węglowy wybranych upraw i wskazano wpływ technologii uprawy na jego wielkość. Wykazano możliwości ograniczenia emisji gazów cieplarnianych poprzez wdrażanie praktyk ograniczających presję rolnictwa na środowisko i sprzyjających osiągnięciu wyznaczonych w EZŁ celów. Zaprezentowano charakterystykę systemów rolno-leśnych i ich rolę w adaptacji do zmian klimatu. Oszacowano wielkość emisji podtlenku azotu, metanu i sekwestracji węgla w zależności od systemu uprawy i gospodarowania resztkami poźniwnymi oraz wpływ na wielkość globalnego potencjału ocieplenia (GWP), wskazując, w których regionach produkcja rolnicza może przyczynić się do wzmożenia zmian klimatu. Osiągnięcie ambitnych celów w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych wymaga wdrażania wielu praktyk rolniczych. Biorąc pod uwagę znaczenie sektora rolnego dla zrównoważonego rozwoju, działania te powinny być podjęte jak najszybciej. Realizacja w dużej mierze jest uzależniona od uruchomienia instrumentów finansowych. W opracowaniu określono, jak dotychczasowe wsparcie rolnictwa w ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich wpłynęło na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych. Szczególną uwagę zwrócono na działanie rolno-środowiskowo-klimatyczne



sprzyjające ochronie środowiska i przeciwdziałające zmianom klimatu. W jednym z rozdziałów przedstawiono znaczenie wyników badań naukowych i współpracy nauki z praktyką wspierających wdrażanie innowacyjności w rolnictwie i kształtowanie jego wpływu na środowisko. Badania naukowe prowadzone w IUNG-PIB umożliwiają wieloaspektową ocenę stanu aktualnego i określenie perspektywicznych kierunków zrównoważonego rozwoju zapewniającego bezpieczeństwo żywnościowe przy jednoczesnym zachowaniu walorów środowiska przyrodniczego. Zaprezentowano także platformę AgEnergy jako ścieżkę do uniezależnienia się od paliw kopalnych, podniesienia efektywności wykorzystania energii, ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i zoptymalizowania produkcji rolnej umożliwiającej osiągnięcie większych korzyści ekonomicznych, agronomicznych i środowiskowych.

Działania ograniczające presję rolnictwa na środowisko koncentrują się także na doskonaleniu metod szacowania emisji gazów cieplarnianych. W opracowaniu przedstawiono porównanie implikowanych współczynników emisji (IEF) stosowanych w Polsce na tle innych krajów europejskich i wskazano możliwości ich obniżenia w produkcji rolniczej. Ostatnie dwa rozdziały poświęcono ograniczaniu emisji amoniaku wywierającej istotny wpływ na jakość wód, gleby i powietrza. Przedstawiono projekcję emisji amoniaku, zastępując w strukturze zużycia mineralnych nawozów azotowych dotychczas stosowany i zakazany do stosowania od sierpnia 2021 r. tradycyjny mocznik, mocznikiem z inhibitorem ureazy. Zaprezentowano projekcję emisji amoniaku z gospodarowania nawozami naturalnymi na lata 2025–2040 i weryfikację możliwości spełnienia zobowiązań wynikających z dyrektywy NEC.

Zwiększanie poziomu świadomości społecznej co do zmian klimatu i sposobów dostosowywania się do nich oraz lepsze informowanie na temat wyzwań i rozwiązań są bardzo ważnymi działaniami. Autorzy ufają, że opracowania wykonane w ramach zadania 8.0 pt. „Identyfikacja i opracowanie nowych krajowych wskaźników jednostkowych oraz zrównoważonych metod produkcji dla celów ochrony środowiska i przeciwdziałania zmianom klimatu w rolnictwie” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2022 r. i zamieszczone w niniejszym zeszycie serii wydawniczej „Studia i Raporty IUNG-PIB” przybliżą Czytelnikom konieczność podejmowania działań ograniczających negatywny wpływ rolnictwa na środowisko i aktywności adaptacyjnych do zmieniających się warunków klimatycznych.

*dr Zuzanna Jarosz*

**Katarzyna Żyłowska, Jerzy Kozyra**

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy  
w Puławach*

## ZMIANY WARUNKÓW AGROKLIMATYCZNYCH W POLSCE\*

**Słowa kluczowe:** agroklimat, zmiany klimatu, wskaźniki agroklimatyczne

### Wstęp

Działalność rolnicza nierozzerwalnie związana jest z warunkami naturalnymi, szczególnie takimi jak: gleba, ukształtowanie terenu i klimat. Można nawet stwierdzić, że warunki klimatyczne determinują rodzaj prowadzonej działalności rolniczej. W nauce o klimacie funkcjonuje pojęcie agroklimatu rozumianego jako przydatność warunków klimatycznych do uprawy roślin na danym obszarze. Do podstawowych elementów opisujących warunki agroklimatyczne zaliczamy: usłonecznienie, temperaturę, opad atmosferyczny, długość okresu wegetacyjnego, długość okresu gospodarczego. Należy nadmienić, że obok sprzyjających warunków do uprawy roślin w przyrodzie występują także zjawiska powodujące straty w uprawach (susze, powódzie, deszcze nawalne). O potrzebie określenia związków między pogodą a plonowaniem roślin oraz częstością i rozmieszczeniem występowania niekorzystnych dla rolnictwa zjawisk meteorologicznych (przymrozki, grad, susze) pisał Radomski (22). Duże osiągnięcia w badaniach nad agroklimatem Polski i wpływem pogody na roślinę posiada Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach (IUNG). Już w latach 60. XX wieku opublikowana została praca „W sprawie określenia wpływu pogody na roślinę” (9). W kolejnych latach zespół prof. Górskiego prowadził dalsze prace nad wpływem temperatury, usłonecznienia (promieniowania) czy niedoboru opadów na roślinę i jej plon (1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 13, 14, 27). Dzięki prowadzonym badaniom

---

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 8.0 pt. „Identyfikacja i opracowanie nowych krajowych wskaźników jednostkowych oraz zrównoważonych metod produkcji dla celów ochrony środowiska i przeciwdziałania zmianom klimatu w rolnictwie” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2022 r.

opracowany został Model Agroklimatu Polski (14), który pozwala na uzyskanie średnich wartości elementów klimatu dla dowolnego punktu w Polsce o znanych współrzędnych geograficznych.

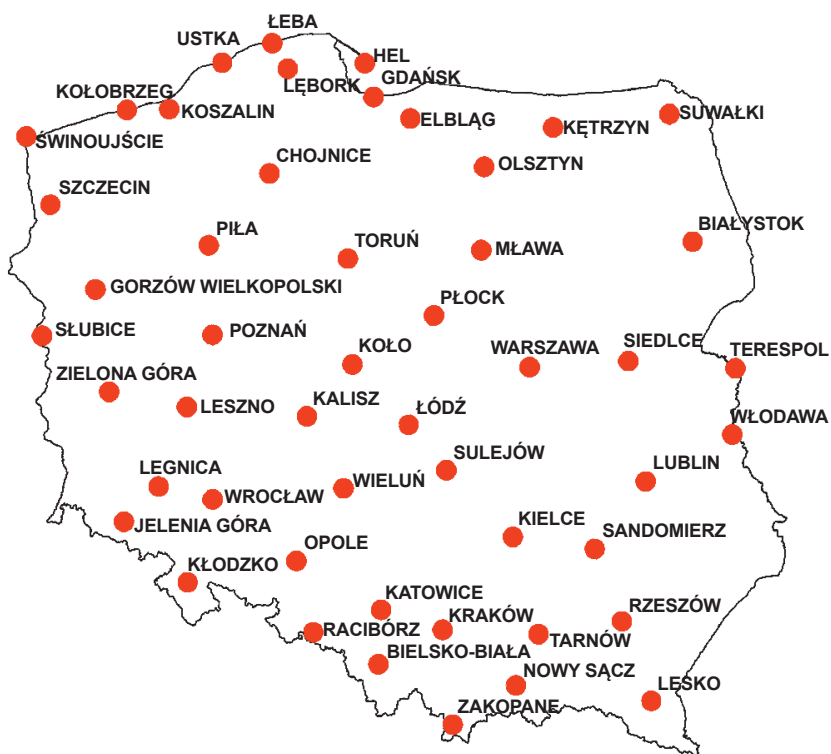
W ostatnich latach coraz częściej mówi się o zachodzących zmianach klimatycznych spowodowanych działalnością człowieka, w tym także działalnością rolniczą (18). Zmiany użytkowania terenu, wylesienia, emisje gazów cieplarnianych pochodzących bezpośrednio, jak i pośrednio z rolnictwa przyczyniły się między innymi do ocieplania się klimatu. Coraz częściej mamy do czynienia z niekorzystnymi dla rolnictwa zjawiskami pogodowymi, jak susze, deszcze nawalne, burze, fale upałów czy brak porywy śnieżnej zimą, które są skutkiem obserwowanych zmian klimatycznych (19). Zmieniło się także postrzeganie roli agrometeorologii w badaniach. Dotychczas głównym zadaniem tej dziedziny nauki było poznanie wpływu warunków pogodowych na roślinę i plony. Obecnie coraz większy nacisk kładzie się na zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego poprzez utrzymanie produkcji żywności na co najmniej dotychczasowym poziomie w wyniku dostosowania rolnictwa do zachodzących zmian klimatu (16, 20).

Celem pracy jest opis zmian wybranych elementów agroklimatu Polski, takich jak: średnia temperatura powietrza, wielkość opadu atmosferycznego, długość okresu wegetacyjnego, w latach 1971–2020.

### Wskaźniki agroklimatyczne

Warunki agroklimatyczne możemy opisać za pomocą wskaźników, które pozwalają na przedstawienie różnic warunków uprawy roślin w różnych rejonach naszego kraju. Do najpopularniejszych a zarazem najważniejszych i prostych wskaźników agroklimatycznych możemy zaliczyć: średnią temperaturę powietrza, datę przejścia temperatury przez próg 5°C (rozpoczęcie okresu wegetacyjnego), długość okresu wegetacyjnego oraz wielkość opadu atmosferycznego.

Do opisu warunków termicznych wykorzystano dane meteorologiczne z lat 1971–2020 pochodzące z 48 stacji synoptycznych (rys. 1) Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB). Dane archiwalne dostępne są na stronie internetowej IMGW pod adresem: [danepubliczne.imgw.pl/data/dane\\_pomiarowo\\_obszerwacyjne/](http://danepubliczne.imgw.pl/data/dane_pomiarowo_obszerwacyjne/). W celu uchwycenia zmian zachodzących w warunkach agroklimatycznych okres 1971–2020 został podzielony na dwa wielolecia: 1971–2000 oraz 2001–2020.

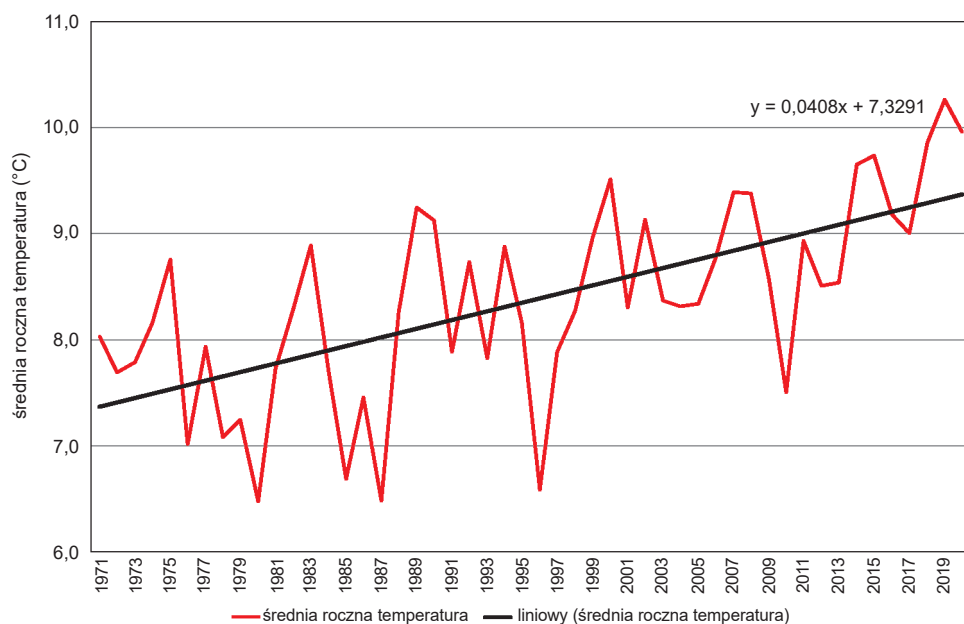


Rys. 1. Stacje synoptyczne IMGW-PIB

Źródło: opracowanie własne

## Warunki termiczne

Do opisu warunków termicznych najczęściej wykorzystywana jest wartość średnia temperatury powietrza (roczna, miesięczna, dobowa czy sezonowa). Średnia roczna temperatura powietrza dla Polski w wieloleciu 1971–2000 wynosiła  $8,0^{\circ}\text{C}$ . W wieloleciu 2001–2020 wartość ta była większa o  $1^{\circ}\text{C}$  i wynosiła  $9,0^{\circ}\text{C}$ . Porównując wielkość średniej rocznej temperatury powietrza w Polsce w całym analizowanym okresie, widać wyraźny trend wzrostowy dla średniej rocznej temperatury, który wynosi  $0,4^{\circ}\text{C}$  na 10 lat (rys. 2). Najcieplejszym rokiem w badanym wieloleciu był 2019, w którym średnia roczna temperatura powietrza wyniosła  $10,3^{\circ}\text{C}$ . Jest to jedyny rok w analizowanym okresie, w którym wartość średniej rocznej temperatury powietrza przekroczyła  $10,0^{\circ}\text{C}$ . Drugim w kolejności rokiem z najwyższą roczną wartością temperatury powietrza był 2020, w którym zanotowano temperaturę  $10,0^{\circ}\text{C}$ . Trzeci w kolejności jest rok 2018 z temperaturą wynoszącą  $9,9^{\circ}\text{C}$ . Z kolei najchłodniejsze były lata 1980 i 1987 ze średnią roczną temperaturą powietrza wynoszącą  $6,5^{\circ}\text{C}$ .



Rys. 2. Średnia roczna temperatura powietrza w Polsce w latach 1971–2020

Źródło: opracowanie własne

Wszystkie lata z największą średnią roczną temperaturą powietrza zawarły się w wieloleciu 2001–2020, w którym najniższa wartość wystąpiła w 2010 roku i wynosiła 7,5°C.

Średnia miesięczna temperatura powietrza w wieloleciu 2001–2020 we wszystkich miesiącach była wyższa niż w miesiącach wielolecia 1971–2000. Największy wzrost miesięcznej temperatury nastąpił w lipcu i listopadzie (1,6°C) oraz kwietniu i sierpniu (1,5°C). Najmniejszy wzrost nastąpił w styczniu (0,4°C). Natomiast czerwiec 2019 roku był najcieplejszym miesiącem w historii pomiarów temperatury na ziemiach polskich. Na obszarze środkowo-zachodniej Polski anomalie bezwzględne przekroczyły w tym roku 6°C (25). Średnia temperatura czerwca w 2019 roku w Polsce wyniosła 21,3°C, gdy średnia dla tego miesiąca w latach 2011–2020 to 17,5°C. Najwyższą średnią temperaturę w czerwcu 2019 roku odnotowano w Poznaniu (23,3°C), Warszawie (22,9°C), Słubicach i Zielonej Górze (22,8°C) oraz we Wrocławiu (22,7°C). Niemal na wszystkich stacjach w czerwcu 2019 roku średnia temperatura przekroczyła 20°C, z wyjątkiem: Zakopanego (18,1°C), Ustki (19,3°C), Leska (19,9°C), Łeby (19,4°C), Kołobrzegu (18,9°C), Kłodzka (19,6°C), Helu (19,2°C) oraz Elbląga (19,5°C).

Tabela 1

Średnia miesięczna i roczna temperatura powietrza w Polsce oraz na wybranych stacjach w wieloletniu 1971–2000 oraz 2001–2020

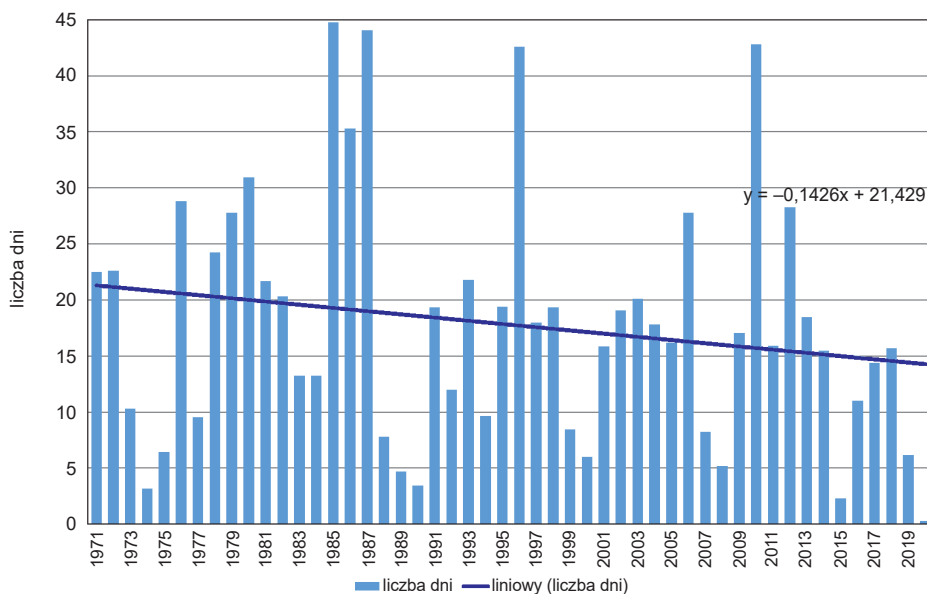
Stacja	Wieloletnie 1971–2000 (°C)												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ROK
Szczecin	-0,1	0,6	3,8	7,9	13,2	16,0	18,0	17,7	13,6	9,0	4,2	1,4	8,8
Kołoźrzeg	0,1	0,6	3,1	6,4	11,1	14,7	17,0	17,1	12,5	9,3	4,5	1,6	8,2
Olsztyn	-2,5	-1,8	1,6	6,7	12,4	15,4	17,1	16,8	12,3	7,7	2,4	-0,8	7,3
Białystok	-3,5	-2,7	1,0	6,8	12,8	15,7	17,1	16,5	11,9	7,0	1,8	-1,6	6,9
Poznań	-1,0	-0,2	3,4	7,9	13,5	16,3	18,1	17,8	13,3	8,6	3,4	0,5	8,5
Łódź	-2,0	-1,0	2,8	7,7	13,4	16,1	17,7	17,6	13,0	8,2	2,8	-0,4	8,0
Warszawa	-2,2	-1,2	2,6	7,9	13,7	16,5	18,1	17,7	13,0	8,1	2,8	-0,4	8,1
Wrocław	-0,8	0,2	3,9	8,2	13,5	16,3	18,1	17,8	13,6	8,9	3,6	0,7	8,7
Kłodzko	-1,9	-1,0	2,8	6,9	12,1	14,8	16,5	16,4	12,5	8,1	2,7	-0,4	7,4
Lublin	-3,1	-2,1	1,8	7,4	13,1	15,8	17,3	17,0	12,5	7,6	2,1	-1,3	7,4
Rzeszów	-2,6	-1,3	2,7	8,0	13,4	16,4	17,9	17,4	13,2	8,3	2,8	-0,7	7,9
<b>Polska</b>	<b>-1,7</b>	<b>-0,8</b>	<b>2,7</b>	<b>7,3</b>	<b>12,8</b>	<b>15,7</b>	<b>17,4</b>	<b>17,2</b>	<b>13,0</b>	<b>8,3</b>	<b>3,1</b>	<b>0,0</b>	<b>7,9</b>
	Wieloletnie 2001–2020 (°C)												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ROK
Szczecin	0,6	1,4	4,2	9,4	13,8	17,2	19,2	18,8	14,6	9,8	5,5	2,3	9,7
Kołoźrzeg	0,5	1,1	3,4	7,6	12,1	15,8	18,3	18,1	14,4	9,7	5,7	2,4	9,1
Olsztyn	-2,3	-1,2	2,3	8,0	13,2	16,4	18,7	18,1	13,6	8,2	4,0	0,0	8,3
Białystok	-3,1	-2,1	1,9	8,0	13,3	16,5	18,8	17,8	12,9	7,5	3,4	-0,8	7,8
Poznań	-0,5	0,6	3,9	9,7	14,4	17,9	20,0	19,5	14,7	9,4	5,0	1,3	9,7
Łódź	-1,6	-0,3	3,2	9,1	14,0	17,4	19,5	19,0	14,0	8,8	4,6	0,5	9,0
Warszawa	-1,7	-0,5	3,5	9,5	14,6	18,1	20,2	19,5	14,4	9,0	4,6	0,4	9,3
Wrocław	0,0	1,2	4,5	10,0	14,5	18,2	20,1	19,6	14,8	9,8	5,5	1,6	10,0
Kłodzko	-1,7	-0,4	3,1	8,3	12,6	16,1	18,0	17,8	13,1	8,6	4,6	0,1	8,4
Lublin	-2,7	-1,5	2,7	8,8	13,8	17,1	19,3	18,8	13,8	8,4	3,9	-0,5	8,5
Rzeszów	-1,9	-0,7	3,5	9,5	14,3	17,9	19,8	19,3	14,2	9,1	4,7	0,0	9,2
<b>Polska</b>	<b>-1,3</b>	<b>-0,1</b>	<b>3,3</b>	<b>8,8</b>	<b>13,5</b>	<b>17,0</b>	<b>19,1</b>	<b>18,7</b>	<b>14,0</b>	<b>9,0</b>	<b>4,7</b>	<b>0,7</b>	<b>8,9</b>
	Różnica pomiędzy wieloletniem 2001–2020 i 1971–2000 (°C)												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ROK
Szczecin	0,7	0,9	0,4	1,5	0,6	1,1	1,2	1,1	1,0	0,7	1,3	0,9	1,0
Kołoźrzeg	0,4	0,5	0,3	1,2	1,1	1,1	1,2	1,0	0,9	0,4	1,2	0,8	0,8
Olsztyn	0,2	0,6	0,7	1,4	0,7	1,0	1,6	1,4	1,3	0,5	1,6	0,8	1,0
Białystok	0,3	0,6	0,9	1,1	0,5	0,8	1,6	1,3	1,1	0,5	1,6	0,8	0,9
Poznań	0,5	0,8	0,5	1,7	0,9	1,6	1,9	1,7	1,3	0,8	1,6	0,8	1,2
Łódź	0,4	0,7	0,4	1,4	0,6	1,4	1,8	1,4	1,0	0,6	1,8	0,9	1,0
Warszawa	0,5	0,7	0,9	1,6	0,9	1,6	2,1	1,8	1,4	0,9	1,8	0,8	1,2
Wrocław	0,8	1,0	0,6	1,9	1,0	1,8	2,0	1,8	1,2	0,9	1,8	0,8	1,3
Kłodzko	0,2	0,6	0,3	1,5	0,6	1,3	1,5	1,4	0,6	0,6	1,9	0,5	0,9
Lublin	0,5	0,6	0,8	1,4	0,7	1,3	2,0	1,8	1,2	0,7	1,9	0,7	1,1
Rzeszów	0,7	0,7	0,8	1,5	0,9	1,6	1,9	2,0	1,1	0,9	1,9	0,7	1,2
<b>Polska</b>	<b>0,4</b>	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>	<b>1,5</b>	<b>0,7</b>	<b>1,3</b>	<b>1,6</b>	<b>1,5</b>	<b>1,1</b>	<b>0,6</b>	<b>1,6</b>	<b>0,7</b>	<b>1,0</b>

1,0 – najwyższa wartość; 1,0 – najniższa wartość

Źródło: opracowanie własne

Średnia temperatura jesieni (wrzesień, październik, listopad) w latach 2001–2020 względem okresu 1971–2000 wzrosła o  $1,1^{\circ}\text{C}$ . Największa różnica pomiędzy wieloleciami w okresie jesieni wystąpiła w listopadzie ( $1,6^{\circ}\text{C}$ ), najmniejsza zaś dotyczyła października ( $0,6^{\circ}\text{C}$ ). Wzrost temperatury w tym okresie powoduje opóźnienie przejścia temperatury przez progi termiczne  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $3^{\circ}\text{C}$  (okres gospodarczy) i  $5^{\circ}\text{C}$  (okres wegetacyjny), powodując wydłużenie okresów rolniczych w Polsce.

W najmniejszym stopniu w porównaniu z pozostałymi porami roku zmieniła się średnia temperatura zimy (styczeń, luty, grudzień), wzrost wyniósł  $0,6^{\circ}\text{C}$ . Wraz ze wzrostem średniej temperatury zimy zmianie uległa liczba dni ze średnią dobową temperaturą powietrza poniżej  $-5^{\circ}\text{C}$  (rys. 3). W latach 1971–2020 najczęściej takich dni w Polsce zanotowano w latach: 1985, 1987, 1996 oraz 2010 i było to ponad 40 dni. Najmniej dni z taką temperaturą było w 2020 roku, gdzie tylko na 5 stacjach synoptycznych (Białystok, Bielsko-Biała, Katowice, Lesko, Nowy Sącz) odnotowano jeden lub dwa dni ze średnią dobową temperaturą poniżej  $-5^{\circ}\text{C}$ . Również na stacji w Zakopanem odnotowano tylko 9 dni z temperaturą poniżej  $-5^{\circ}\text{C}$ , gdzie średnio w roku było to 35 dni (w okresie 1971–2020).



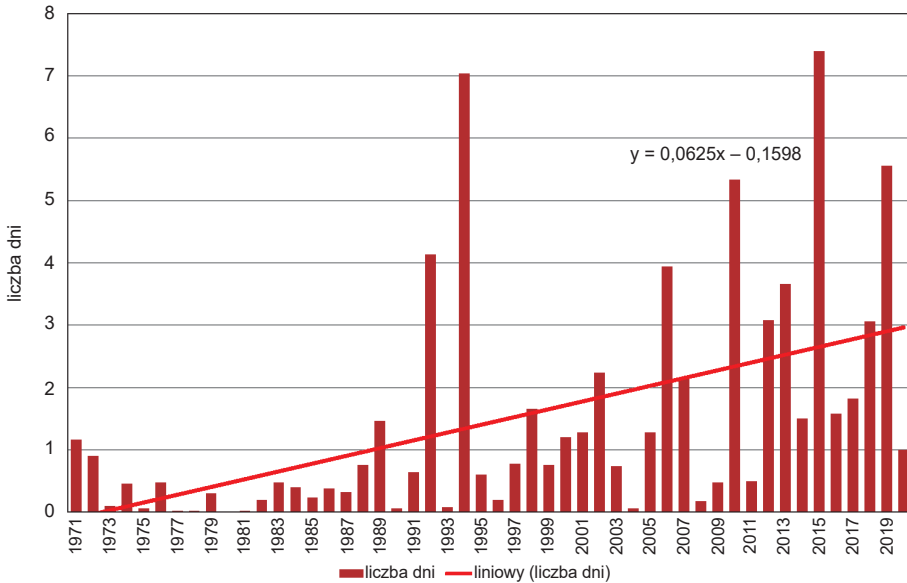
Rys. 3. Liczba dni ze średnią dobową temperaturą powietrza poniżej  $-5^{\circ}\text{C}$  w latach 1971–2020

Źródło: opracowanie własne

Średnia temperatura wiosny (marzec, kwiecień, maj) w latach 2001–2020 była wyższa niż w wieloleciu 1971–2000 o  $0,9^{\circ}\text{C}$ . Największy wzrost temperatury nastąpił w kwietniu i średnio dla Polski wynosił  $1,5^{\circ}\text{C}$ . Okres wiosny jest niezwykle ważny dla rolnictwa. Wzrost temperatury w tym okresie powoduje przyspieszenie

przejścia temperatury przez progi termiczne wyznaczające okres gospodarczy ( $3^{\circ}\text{C}$ ) i wegetacyjny ( $5^{\circ}\text{C}$ ).

W miesiącach letnich (czerwiec, lipiec, sierpień) w latach 2001–2020 średnia temperatura powietrza była wyższa niż w wieloleciu 1971–2000 o  $1,4^{\circ}\text{C}$ . Największy wzrost temperatury wystąpił w lipcu ( $1,6^{\circ}\text{C}$ ). Wraz ze wzrostem temperatury w lecie zmianie uległa liczba dni ze średnią dobową temperaturą powietrza powyżej  $25^{\circ}\text{C}$  (rys. 4). W wieloleciu 1971–2000 średnio rocznie w Polsce było 0,8 dnia z tą temperaturą, zaś w latach 2001–2020 wartość ta osiągnęła 2,3 dnia (więcej o 1,5 dnia). Najwięcej dni z tak wysoką temperaturą dobową było w 2015 roku, natomiast w 1994 roku – 7 dni. Widoczny jest wyraźny trend wzrostowy, a zatem w kolejnych latach należy spodziewać się jeszcze większej liczby dni upalnych w Polsce.



Rys. 4. Liczba dni ze średnią dobową temperaturą powietrza powyżej  $25^{\circ}\text{C}$  w latach 1971–2020

Źródło: opracowanie własne

### Okres wegetacyjny

Według Słownika meteorologicznego (23) okres wegetacyjny to część roku, w której istnieją warunki klimatyczne sprzyjające rozwojowi roślin. Jako termin rozpoczęcia okresu wegetacyjnego uznaje się przejście średniej dobowej temperatury powietrza przez próg  $5^{\circ}\text{C}$ . W poniższych analizach przyjęto, że próg  $5^{\circ}\text{C}$  zostaje przekroczony, jeśli przez pięć kolejnych dni średnia dobowa temperatura powietrza będzie równa lub większa od zadanej wartości. W wieloleciu 1971–2000 okres wegetacyjny w Polsce rozpoczynał się średnio 27 marca (tab. 2). Najwcześniejszy okres ten rozpoczynał się w zachodniej Polsce (rys. 5). Na stacji w Szczecinie



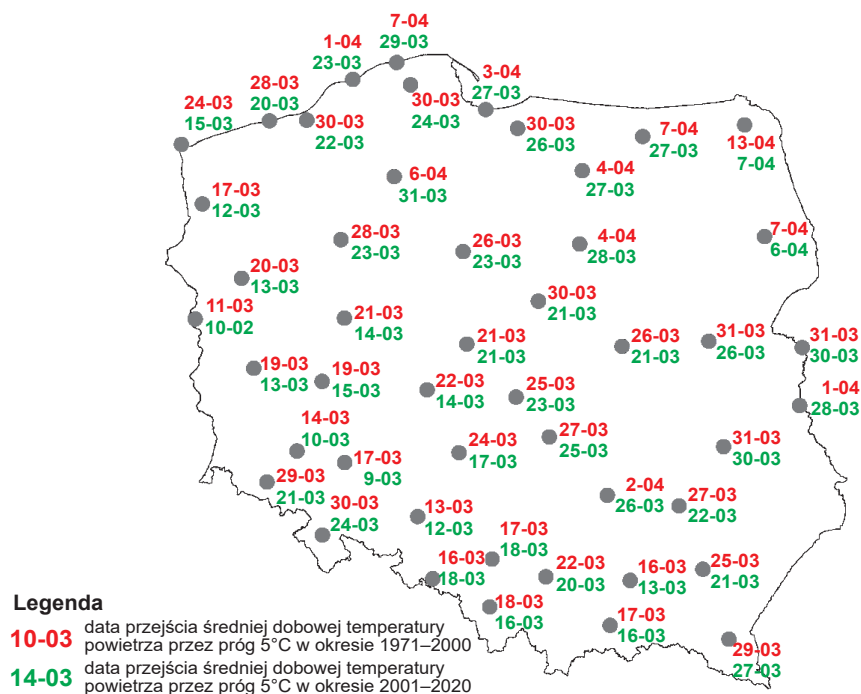
było to 17 marca, w Gorzowie Wielkopolskim – 20 marca, w Zielonej Górze i Lesznie – 19 marca, a w Słubicach nawet 11 marca. Na wschodzie Polski okres wegetacyjny rozpoczynał się w ostatnich dniach marca, a w Polsce północno-wschodniej na początku kwietnia. Na stacji w Olsztynie i Mławie – 4 kwietnia, Kętrzynie i Białymstoku – 7 kwietnia, a w Suwałkach – 13 kwietnia.

Tabela 2

Początek, koniec, długość okresu wegetacyjnego w Polsce w wieloleciu 1971–2000 oraz 2001–2020

	1971–2000 (1)	2001–2020 (2)	Różnica (2 – 1)
Początek okresu wegetacyjnego	27 marzec (87 dzień roku)	22 marzec (82 dzień roku)	–5,0 dni odch. stand. 3,3 dnia
Współczynnik zmienności	19,6%	20,3%	
Koniec okresu wegetacyjnego	6 listopad (311 dzień roku)	12 listopad (317 dzień roku)	5,3 dnia odch. stand. 2,9 dnia
Współczynnik zmienności	4,5%	5,1%	
Długość okresu wegetacyjnego	225 dni	236 dni	10,0 dni odch. stand. 4,9 dnia
Współczynnik zmienności	9,7%	9,4%	

Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Średnia data przejścia temperatury przez próg 5°C na wybranych stacjach w Polsce w latach 1971–2000 oraz 2001–2020

Źródło: opracowanie własne

W wieloleciu 2001–2020 nastąpiło przyspieszenie rozpoczęcia okresu wegetacyjnego w Polsce, średnio o 5 dni; średnia temperatura dobowa przechodziła przez próg 5°C już 22 marca. Podobnie jak w poprzednim wieloleciu najwcześniej próg ten był przekraczany na zachodzie kraju – 10–13 marca, a najpóźniej na wschodzie: 28 marca we Włodawie, 30 marca w Terespolu oraz na północnym-wschodzie: Białystok – 6 kwietnia oraz Suwałki – 7 kwietnia.

Należy nadmienić, że 22 marca to średnia data przejścia temperatury przez próg 5°C dla Polski. Na poszczególnych stacjach próg ten jest osiągany wcześniej lub później, w zależności od położenia danego miejsca jak i roku (rys. 6). Z przedstawionych na rysunku 10 danych wynika, że na stacjach w zachodniej Polsce w pojedynczych latach okres wegetacyjny może rozpoczynać się nawet w lutym. Analizując ostatnie 20 lat, stwierdzamy, że taka sytuacja miała miejsce zarówno na początku, jak i na końcu analizowanego wielolecia. Różnica rozpoczęcia okresu wegetacyjnego w latach 2001–2020 na zachodzie Polski dochodzi do ponad 60 dni. W Poznaniu próg 5°C został przekroczony 6 lutego w 2002 i 2004 roku (57 dzień roku), natomiast w 2013 roku nastąpiło to dopiero 15 kwietnia (106 dzień roku). Różnica rozpoczęcia okresu wegetacyjnego dla Poznania to aż 69 dni. Na stacji w Suwałkach ta różnica była mniejsza i wynosiła 29 dni. Najwcześniej okres wegetacyjny rozpoczął się tam w 2004 roku – 22 marca (82 dzień roku), a najpóźniej w 2013 i było to 20 kwietnia (111 dzień roku).



Rys. 6. Numer dnia przejścia średniej dobowej temperatury powietrza przez próg 5°C w latach 2001–2020 dla wybranych stacji synoptycznych w Polsce

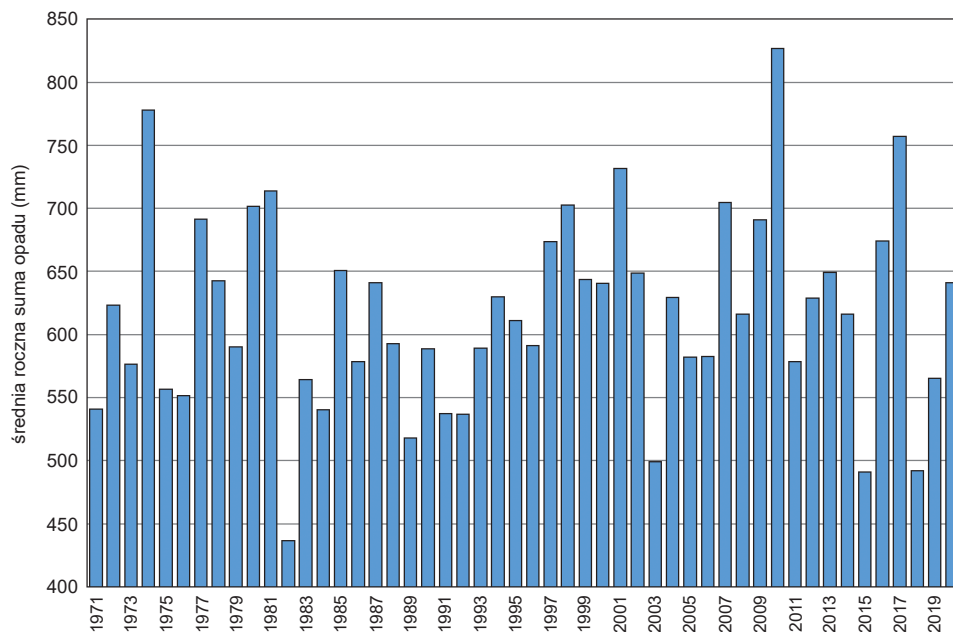
Źródło: opracowanie własne

Datę zakończenia okresu wegetacyjnego wyznacza ponowne przejście temperatury przez próg 5°C. Średnio w Polsce okres wegetacyjny kończył się 6 listopada w wieloleciu 1971–2000 oraz 12 listopada w wieloleciu 2001–2020. A zatem w drugim analizowanym okresie nastąpiło opóźnienie zakończenia okresu wegetacyjnego w Polsce średnio o 5–6 dni. Najwcześniej okres wegetacyjny kończył się we wschodniej Polsce. W latach 1971–2000 w Suwałkach było to 28 października, Białymstoku – 29 października, we Włodawie – 1 listopada, a w Terespolu – 2 listopada. W zachodniej Polsce okres wegetacyjny trwał do 8 listopada w Poznaniu, 11 listopada w Legnicy i 12 listopada w Słubicach. Zakończenie okresu wegetacyjnego w wieloleciu 2001–2020 w północno-zachodnich rejonach Polski następuje nawet w trzeciej dekadzie listopada, a w północno-wschodniej Polsce w ostatnich dniach października. Opóźnienie zakończenia okresu wegetacyjnego oraz przyspieszenie jego rozpoczęcia spowodowało wydłużenie tego okresu. Średnia długość okresu wegetacyjnego w Polsce wynosi 236 dni i w porównaniu z wieloleciem 1971–2000 jest dłuższa o 10 dni (tab. 2). Wydłużenie trwania okresu wegetacyjnego w północno-zachodniej Polsce wynosi w zależności od stacji od 14 do 23 dni, natomiast na wschodzie kraju – od 3 do 7 dni. Najdłuższy okres wegetacyjny w wieloleciu 2001–2020 był na zachodzie kraju i wynosił ponad 250 dni (Legnica – 252 dni, Słubice – 253 dni, Szczecin – 254 dni, Świnoujście – 252 dni, Wrocław – 255 dni). Przesuwając się na wschód kraju, okres wegetacyjny ulega skróceniu – w Suwałkach wynosi 207 dni, a w Białymstoku 209 dni. Różnica pomiędzy stacją z najdłuższym okresem wegetacyjnym (Wrocław 255 dni) a najkrótszym (207 dni) wynosi 48 dni. Analizując długość okresu wegetacyjnego w poszczególnych latach, różnice w jego długości są jeszcze większe. W 2002 oraz 2016 roku różnica pomiędzy Wrocławiem a Suwałkami wynosiła 82 dni, a w 2015 roku – 77 dni. Oczywiście zdarzają się też lata, w których ta różnica jest bardzo mała i wynosi jedynie 8 dni, jak to miało miejsce w 2013 roku.

### Warunki opadowe

Dla prowadzonej działalności rolniczej obok warunków termicznych niezmiernie ważne są warunki wilgotnościowe, najczęściej charakteryzowane za pomocą sumy opadu atmosferycznego. Wielkość rocznej sumy opadu jest mocno zróżnicowana w obrębie naszego kraju. Największe opady występują w południowej Polsce, na terenach górskich i podgórszych, najniższe notowane są w Polsce centralnej, w Wielkopolsce i na Kujawach. Dodatkowo wielkość opadu atmosferycznego jest bardzo zróżnicowana w poszczególnych latach. W analizowanym okresie 1971–2020 najniższe opady odnotowano w 1982 roku i było to 437 mm (rys. 7). Średnia roczna suma opadu dla obszaru Polski wynosząca poniżej 500 mm odnotowana została jeszcze w 2003 roku (499 mm), 2015 (491 mm) i 2018 (492 mm). Najwyższą sumę opadu atmosferycznego, powyżej 750 mm, w analizowanym okresie odnotowano jedynie w trzech latach: 1974 (778 mm), 2010 (827 mm) oraz 2017 (757 mm). Średnia wiel-

kość opadu dla obszaru Polski w wieloleciu 1971–2000 wyniosła 608 mm, zaś dla okresu 2001–2020 – 630 mm. Na uwagę zasługuje więc fakt, że w ostatnich latach, w których mamy do czynienia z suszą, średnia wielkość opadu atmosferycznego była większa. Ma to związek z coraz częściej występującymi deszczami burzowymi i nawałnymi, co jest jednym ze skutków ocieplania się klimatu.

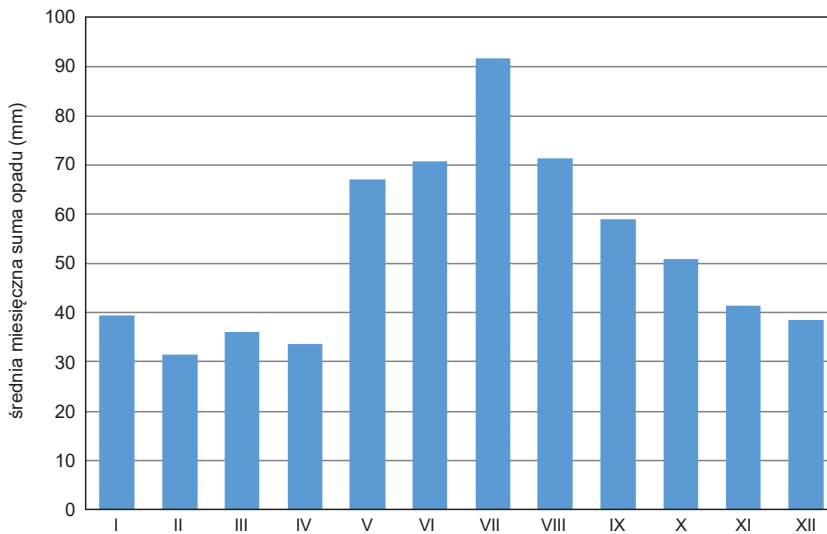


Rys. 7. Średnia roczna suma opadu atmosferycznego dla obszaru Polski w latach 1971–2020

Źródło: opracowanie własne

Oprócz zmienności w kolejnych latach występuje także zróżnicowanie w obrębie jednego roku pomiędzy miesiącami. Miesiącem o największej sumie opadów jest lipiec, zaś najniższe opady przypadają na okres miesięcy zimowych (rys. 8). W wieloleciu 2001–2020 średnia miesięczna suma opadu wyniosła w lipcu 92 mm, zaś w czerwcu i sierpniu – po 71 mm. Średnia suma opadu przypadającego na miesiące letnie to 234 mm. Zdecydowanie mniejsze opady są w miesiącach wiosennych (marzec, kwiecień, maj) i wynoszą 137 mm.

W analizowanym okresie 2001–2020 istnieją bardzo duże różnice miesięcznych sum opadu atmosferycznego pomiędzy poszczególnymi latami (tab. 3). Różnica pomiędzy najniższą i najwyższą sumą opadu atmosferycznego dla miesiąca na przestrzeni analizowanych 20 lat wynosi niemal 150 mm dla lipca i 135 mm dla sierpnia. Najniższa różnica około 42 mm występuje w miesiącu marcu.



Rys. 8. Średnia miesięczna suma opadu atmosferycznego dla obszaru Polski w wieloleciu 2001–2020

Źródło: opracowanie własne

Tabela 3

Średnia miesięczna suma opadu atmosferycznego dla obszaru Polski w latach 2001–2020

Rok	Miesiąc											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2001	30,2	26,7	47,3	65,6	46,3	84,4	143,9	67,3	112,7	27,2	42,5	37,5
2002	38,9	54,4	36,2	27,1	68,7	77,8	72,1	70,0	51,9	97,5	38,0	16,0
2003	35,7	10,3	17,8	32,3	61,5	38,9	95,4	37,5	39,5	59,2	27,7	43,2
2004	36,6	50,3	39,5	37,9	57,4	64,7	91,3	79,5	34,6	51,3	56,7	29,3
2005	46,5	35,5	30,7	26,6	75,0	48,7	89,6	71,0	38,0	14,2	31,5	74,5
2006	18,0	30,0	34,0	44,5	59,5	62,6	23,1	151,8	34,6	34,4	60,2	29,6
2007	84,0	37,4	42,1	16,0	67,5	89,1	109,4	65,6	83,9	33,9	50,4	25,2
2008	50,1	22,7	55,0	50,2	41,0	40,7	88,7	90,7	53,4	54,3	35,3	34,2
2009	24,2	37,3	59,7	6,3	75,7	120,9	101,4	57,2	35,8	81,9	47,9	42,7
2010	32,3	25,2	33,9	32,2	153,3	65,3	104,9	134,8	92,1	15,5	87,2	50,2
2011	30,6	27,7	19,7	31,5	51,2	65,2	172,8	68,4	34,4	33,2	3,5	40,5
2012	57,8	32,4	19,3	40,3	44,4	92,9	96,5	67,3	45,3	59,9	43,1	29,5
2013	54,9	31,9	36,6	31,5	93,8	110,8	56,0	48,7	89,0	25,7	45,3	25,1
2014	39,5	13,2	41,0	38,4	101,3	62,7	81,4	85,0	52,8	33,8	18,5	48,7
2015	46,1	10,7	40,7	28,4	54,7	43,1	64,9	17,6	59,2	32,9	62,0	30,6
2016	28,8	52,7	32,6	39,9	45,8	67,2	130,7	63,0	24,3	94,6	49,0	45,4
2017	18,9	34,3	39,8	62,2	43,9	77,1	104,9	74,8	108,3	96,5	52,1	44,2
2018	35,9	11,8	28,0	28,1	40,7	48,2	93,0	41,8	45,7	47,2	14,3	57,6
2019	44,8	24,3	38,1	22,7	84,0	41,2	57,5	61,2	74,6	39,8	41,4	35,6
2020	33,1	58,2	27,0	8,8	75,6	110,4	55,1	74,2	67,2	82,6	20,2	28,8

1,0 – najwyższa wartość; 1,0 – najniższa wartość

Źródło: opracowanie własne

Warto wspomnieć, że opady w miesiącach letnich często są opadami burzowymi, które ze względu na swoją intensywność nie przesiąkają w całości do gleby. Zjawiskiem niepokojącym występującym w ostatnich latach jest również brak opadów w miesiącach zimowych w postaci śniegu. Brak pokrywy śnieżnej z jednej strony nie zabezpiecza przed suszą w okresie wiosennym, a z drugiej strony nie chroni roślin ozimych przed występującymi niskimi temperaturami.

### Podsumowanie

Obserwowane obecnie zmiany warunków pogodowych są bez wątpienia skutkiem zachodzących zmian klimatycznych. Jedną z głównych przyczyn globalnego ocieplenia uznaje się emisję gazów cieplarnianych, w dużej mierze związaną z działalnością człowieka, w tym rolniczą. W najnowszym szóstym raporcie opublikowanym przez IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (15) po raz kolejny zwraca się uwagę na konieczność ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, chcąc zachować wzrost globalnej temperatury poniżej 2°C.

Globalne zmiany klimatyczne pociągają za sobą zarówno zmiany regionalne, jak i lokalne. Jak to zostało przedstawione powyżej, zmiany związane ze wzrostem temperatury, wydłużeniem okresu wegetacyjnego czy częstością występowania zjawisk ekstremalnych są faktem. O zmianach agroklimatu Polski już w 2002 roku pisał Górski (7), wskazując na istotność prac dotyczących opisu zmieniających się warunków. Podkreślał, że z jednej strony porządkują one dotychczasową wiedzę, z drugiej zaś są pomocne w przygotowaniu społeczeństwa i gospodarki na zmieniające się warunki. Od tego czasu pojawiało się coraz więcej prac opisujących zmiany warunków agroklimatycznych w Polsce (8, 17, 21, 26, 28). Zaczęto też pisać o konieczności adaptacji rolnictwa do zmieniających się warunków klimatycznych w celu minimalizowania wpływu niekorzystnych zjawisk i zaadaptowania korzystnych zmian (20). W 2013 roku w Ministerstwie Środowiska opracowany został dokument „Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030” (24), który opisuje wpływ różnych zjawisk pogodowych na poszczególne działy gospodarki, w tym rolnictwo.

W wyniku obserwowanych zachodzących zmian klimatu zasadne wydaje się uaktualnienie tzw. norm klimatycznych dla danego obszaru, jak średnia miesięczna czy roczna temperatura powietrza (12). Zmiany klimatu są także bardzo istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa żywnościowego zarówno naszego kraju, jak i całego świata. Wzrost liczby zjawisk ekstremalnych niekorzystnych dla produkcji rolnej, jak: upały, susze, deszcze nawalne znacznie przewyższają korzystne zjawiska związane ze zmianami klimatycznymi, jak chociażby możliwość uprawy roślin ciepłolubnych na coraz większym obszarze kraju. Podjęcie odpowiednich działań może ograniczyć wpływ zagrożeń wynikających ze zmian klimatu na bezpieczeństwo żywnościowe (16).

Prognozowany na podstawie dostępnych scenariuszy klimatycznych wzrost temperatury w kolejnych latach sprawia, że należy monitorować przebieg pogody, co pozwoli na przygotowanie się do nadchodzących zmian.

### Literatura

1. Demidowicz G., Doroszewski A., Górski T.: Metodyka szacunku strat w produkcji roślinnej powodowanych deficytem opadów. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, 1997, **CCXCI**: 233-243.
2. Demidowicz G., Doroszewski A., Górski T.: Wstępna ocena zagrożenia przymrozkowego roślin sadowniczych. Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis, 202 Agricultura, 1999, (79): 57-60.
3. Demidowicz G., Doroszewski A., Górski T.: Wpływ niedoboru opadów na straty w produkcji ziemniaka i buraka cukrowego. Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych, 1996, **438**: 43-52.
4. Doroszewski A.: Kształtowanie pokroju i produktywności pszenicy ozimej przez promieniowanie odbite. Pamiętnik Puławski, 1999, **118**: 121-130.
5. Doroszewski A., Demidowicz G., Górski T.: Wpływ niedoboru opadów na straty w produkcji zbóż jarych w Polsce. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, 1997, **CCXCI**: 223-231.
6. Faber A.: Efektywność wykorzystania promieniowania świetlnego przez pszenicę ozimą uprawianą na różnych glebach. Fragmenta Agronomica, 2000, **4 (68)**: 46-52.
7. Górski T.: Współczesne zmiany agroklimatu Polski. Pamiętnik Puławski, 2002, **130(I)**: 241-250.
8. Górski T.: Changes in Poland's agroclimatic conditions over the last century. Papers on Global Change, 2007, **14**: 55-67.
9. Górski T.: W sprawie określenia wpływu pogody na roślinę. Postępy Nauk Rolniczych, 1964, **4(88)**: 35-56.
10. Górski T.: Próba oceny zasobów agroklimatycznych w Europie Środkowej. Pamiętnik Puławski, 2001, **124**: 141-151.
11. Górski T., Doroszewski A.: Wpływ opadów atmosferycznych na plonowanie ziemniaków w Polsce. Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych, 1986, **284**: 369-375.
12. Górski T., Kozyra J.: Agroklimatyczna norma średniej temperatury powietrza w Polsce na lata 2011–2020. Polish Journal of Agronomy, 2011, **5**: 21-28.
13. Górski T., Krasowicz S., Kuś J.: Glebowo-klimatyczny potencjał Polski w produkcji zbóż. Pamiętnik Puławski, 1999, **114**: 127-142.
14. Górski T., Zaliwski A.S.: Model Agroklimatu Polski (Agroclimate Model of Poland). Pamiętnik Puławski, 2002, **130/I**: 251-260.
15. IPCC, 2022. Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers.
16. Karaczun Z.M., Kozyra J.: Wpływ zmian klimatu na bezpieczeństwo żywnościowe Polski. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2020, ss. 119.
17. Kozyra J., Doroszewski A., Nieróbcza A.: Zmiany klimatyczne i ich przewidywany wpływ na rolnictwo w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy 2009, **14**: 243-257.
18. Kundzewicz Z.W., Juda-Rezler K.: Zagrożenia związane ze zmianami klimatu. Nauka, 2010, **4**: 69-76.
19. Kundzewicz Z.W., Hov O., Okruszko T. (red.): Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce. Poznań 2017, ss. 273.

- 
20. Kundzewicz Z.W., Kozyra J.: Ograniczenie wpływu zagrożeń klimatycznych w odniesieniu do rolnictwa i obszarów wiejskich. *Polish Journal of Agronomy*, 2011, **7**: 68-81.
  21. Nieróbcza A., Kozyra J., Mizak K., Wróblewska E.: Zmiany długości okresu wegetacyjnego w Polsce. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 2013, t. 13., **2(42)**: 81-94.
  22. Radomski C.: O niektórych zagadnieniach meteorologii rolniczej w Polsce. *Postępy Nauk Rolniczych*, 1966, **4(100)**: 3-14.
  23. Słownik meteorologiczny. T. Niedźwiedź red., PTGeof/IMGW, Warszawa 2003, ss. 495.
  24. Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030 (SPA 2020), 2013. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
  25. Wardosz R., Wałach P.: Niezwykłe ciepła pogoda w czerwcu 2019 roku w Polsce i jej przyczyny cyrkulacyjne. *Przegląd Geofizyczny*, 2020, **LXV(3-4)**: 179-194.
  26. Węgrzyn A., Wojkowski J., Skowera B.: Rolnicze okresy termiczne na Lubelszczyźnie w latach 1981–2010. *Acta Agrophysica*, 2017, **24(3)**: 535-551.
  27. Zaliwski A.S., Nieróbcza A., Kozyra J., Górski T.: Aplikacja WEINDEX do oceny wpływu pogody na plon roślin uprawnych. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, Puławy 2014, **38(12)**: 115-127.
  28. Żmudzka E.: Współczesne zmiany klimatu Polski. *Acta Agrophysica*, 2009, **13(2)**: 555-568.
- 

Adres do korespondencji:

*dr Katarzyna Żyłowska; dr hab. Jerzy Kozyra*  
*Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8*  
*24-100 Puławy*  
*tel.: 81 4786 768; 81 4786 764*

*e-mail: Katarzyna.Zylowska@iung.pulawy.pl; Jerzy.Kozyra@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR	ORCID
Katarzyna Żyłowska	0000-0002-6019-034X
Jerzy Kozyra	0000-0002-7082-8765





**Tomasz Żyłowski**

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy  
w Puławach*

## ŚLAD WĘGLOWY GŁÓWNYCH ROŚLIN UPRAWNYCH W POLSCE\*

**Słowa kluczowe:** ślad węglowy, emisje gazów cieplarnianych, uprawa

### Wstęp

Szósty raport IPCC (Międzynarodowego Zespołu do Spraw Zmian Klimatu) (14) opublikowany w kwietniu 2022 r. wskazuje na bezpośredni wpływ działalności człowieka na wzrost stężenia gazów cieplarnianych (GHG) w atmosferze skutkujący wzrostem średniej temperatury i zmianami klimatu. Wskazano w nim, że każde dodatkowe 0,5°C globalnego ocieplenia powoduje wyraźny wzrost intensywności i częstotliwości występowania fal upałów, nawałnych opadów, a także suszy rolniczej i hydrologicznej.

Globalnie udział rolnictwa w emisji gazów cieplarnianych wynosi ok. 12%, przy czym szacuje się, iż produkcja żywności (cały łańcuch dostaw od wytworzenia środków produkcji aż do utylizacji odpadów) odpowiada za emisję od 21 do 37% gazów cieplarnianych (22).

Wielkość emisji z rolnictwa w Polsce raportowana przez KOBiZE (16) utrzymuje się na względnie stałym poziomie od roku 2000 (31,4–34,5 Mt ekw.CO<sub>2</sub>) i podobnym udziale wynoszącym ok. 8%. Warto zauważyć, że wspomniany udział rolnictwa odnosi się do emisji występujących bezpośrednio podczas produkcji roślinnej i zwierzęcej i nie obejmuje wytworzenia użytych środków produkcji, które raportowane są w innych gałęziach gospodarki.

Do oceny wpływu uprawy roślin na środowisko używany jest ślad węglowy (ang. *Carbon Footprint*) odnoszący się do kategorii wpływu na zmiany klimatu. Jest to jeden ze wskaźników stosowanych w ocenie cyklu życia (ang. *Life Cycle Assessment*). Ślad węglowy to suma emisji lub pochłaniania gazów cieplarnianych

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 8.0 pt. „Identyfikacja i opracowanie nowych krajowych wskaźników jednostkowych oraz zrównoważonych metod produkcji dla celów ochrony środowiska i przeciwdziałania zmianom klimatu w rolnictwie” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2022 r.

powstałych w całym cyklu życia produktu, wyrażona w ekwiwalencie dwutlenku węgla i odniesiona do jednostki funkcjonalnej (21). Praktycznie rzecz ujmując, w polskich warunkach klimatycznych inwentaryzacja bezpośrednich emisji w uprawie ziemiopłodów obejmuje podtlenek azotu ( $N_2O$ ) oraz dwutlenek węgla ( $CO_2$ ). Emisje pośrednie (powstające poza bramą gospodarstwa) związane są z wytworzeniem użytych środków produkcji.

W związku z obawami dotyczącymi zmian klimatu badania nad śladem węglowym upraw obejmują dziesiątki tysięcy pozycji literaturowych (7). W pracy Clune'a i in. (6) zestawiono rezultaty 369 artykułów badających ślad węglowy świeżych produktów żywnościowych w pięciu kategoriach, takich jak: owoce, warzywa, podstawowe produkty żywnościowe (zboża, rośliny strączkowe, orzechy, nasiona, ryż), produkty mleczne i mięso. Metaanaliza pokazała, iż owoce i warzywa mają najmniejszy ślad węglowy w odniesieniu do 1 kg produktu, natomiast mięso przeżuwaczy – ponad 100-krotnie większy. Zhang i in. (26) wyznaczyli ślad węglowy głównych roślin uprawnych w Chinach: kukurydzy na ziarno, pszenicy i ryżu. Polskie badania nad śladem węglowym obejmują uprawę, m.in.: rzepaku ozimego (1), kukurydzy na ziarno (10), pszenicy ozimej (11) oraz pszenżyta ozimego (2). Warto zwrócić uwagę na występowanie szerokiego zakresu otrzymywanych wyników dla tej samej rośliny, w zależności od przyjętej metodyki, zakresu badań, a także jakości i reprezentatywności danych użytych do obliczeń; w metaanalizie Clune'a i in. (6) pokazano na przykład, iż wyznaczony w różnych publikacjach ślad węglowy uprawy zbóż zawierał się w przedziale od 0,11 od 1,38 kg  $CO_2$  ekw.  $\cdot kg^{-1}$ .

Celem pracy jest ocena śladu węglowego uprawy głównych roślin w Polsce, tj.: pszenicy ozimej, pszenżyta ozimego, jęczmienia jarego, mieszanki zbóż, kukurydzy na ziarno i na kiszonkę, ziemniaka, buraka cukrowego i rzepaku ozimego.

### Material i metodyka badań

Największą trudność przy szacowaniu śladu węglowego uprawy wybranych ziemiopłodów, na poziomie krajowym, stanowi brak dostępu do szczegółowych statystyk publicznych. W opracowaniach GUS (8) przedstawione są średnie wielkości plonów wybranych roślin, brak jest jednak informacji dotyczących technologii uprawy poszczególnych roślin, zwłaszcza ilości zastosowanych nawozów mineralnych i naturalnych.

Z uwagi na brak danych na poziomie krajowym, w pracy użyto wybranych danych ankietowych zebranych w projekcie LCAgri w sezonie wegetacyjnym 2015/2016 (12). Dane te zawierają szczegółowe informacje o plonie, zabiegach uprawowych, zastosowanych nawozach i środkach ochrony roślin (ŚOR), zużyciu paliwa, glebie (klasa bonitacyjna, odczyn). Ankiety zostały zebrane wśród gospodarstw należących do polskiego FADN o trzech kierunkach produkcji: uprawie roślin, hodowli bydła mlecznego oraz trzody chlewnej i obejmują obszar całej Polski. W tabeli 1 przedstawiono zestawienie sumaryczne opisujące średnią technologię produkcji wybranych roślin.

Do analiz wybrano 9 roślin o największej powierzchni zasiewów w Polsce w roku 2016 (17): pszenicę ozimą (1881 tys. ha), pszenżyto ozime (1191 tys. ha), jęczmień jary (778 tys. ha), mieszankę zbóż (798 tys. ha), kukurydzę na ziarno (594 tys. ha) i na kiszonkę (597 tys. ha), ziemniaka (301 tys. ha), buraka cukrowego (206 tys. ha) i rzepak ozimy (823 tys. ha; areal z rzepikiem).

Tabela 1

Charakterystyka zużycia środków produkcji oraz plony analizowanych roślin

Roślina	n*	Plon (t·ha <sup>-1</sup> )	Azot (kg N·ha <sup>-1</sup> )	Fosfor (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·ha <sup>-1</sup> )	Potas (kg K <sub>2</sub> O·ha <sup>-1</sup> )	Obornik (t·ha <sup>-1</sup> )	Gnojowica (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	Paliwo (t·ha <sup>-1</sup> )	Środki ochrony roślin (kg s.a.·ha <sup>-1</sup> )**	Maszyny (h·ha <sup>-1</sup> )
Pszenica ozima	140	5,99	106,96	35,27	55,57	5,59	0,85	111,55	1,94	11,93
Pszenżyto ozime	130	4,46	102,97	32,86	45,35	9,37	2,28	95,85	1,21	11,40
Jęczmień jary	103	4,5	77,72	33,22	48,34	9,60	2,18	99,65	1,13	12,23
Mieszanka zbóż	67	5,19	74,04	33,92	40,38	11,06	1,33	104,20	1,00	12,63
Kukurydza na ziarno	43	9,37	121,48	58,47	92,70	6,86	2,92	113,10	1,12	12,10
Kukurydza na kiszonkę	59	52,07	104,52	42,25	56,37	26,75	2,89	141,42	0,80	12,05
Ziemniak	39	21,62	76,51	41,71	54,44	21,48	1,09	115,33	1,50	13,70
Burak cukrowy	29	56,65	137,01	59,10	92,11	9,22	0,00	136,06	2,79	12,28
Rzepak ozimy	84	2,74	157,16	52,62	89,98	3,07	1,07	113,18	2,58	10,98

\*w kolumnie oznaczonej literą n podano liczbę gospodarstw uprawiających poszczególne rośliny;

\*\*kg s.a. – kilogram substancji aktywnej w środkach ochrony roślin

Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych z projektu LCAGri (12)

Ślad węglowy jest zdefiniowany jako bilans (emisji lub pochłaniania) gazów cieplarnianych wywołanych przez uprawę i wyrażony w ekwiwalencie dwutlenku węgla (25). Ekwiwalent dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub> ekw.) obliczany jest jako iloczyn masy danego gazu przez odpowiedni współczynnik globalnego ocieplenia (GWP, ang. *Global Warming Potential*) w pewnym horyzoncie czasowym, zazwyczaj 100-letnim. Współczynnik globalnego ocieplenia jest jednostką bezwymiarową i wyraża wpływ danego gazu na globalne ocieplenie w porównaniu z CO<sub>2</sub>, dla którego przyjęto GWP = 1. Do analiz przyjęto, że dla N<sub>2</sub>O potencjał globalnego ocieplenia w 100-letnim horyzoncie czasowym jest równy 298 (23).

Za główną jednostkę funkcjonalną do dalszych analiz przyjęto 1 kg zebranego plonu (świeża masa); jest to najczęściej przyjmowana jednostka w badaniach śladu węglowego pozwalająca na porównywanie efektywności środowiskowej uprawy wybranej rośliny. Dodatkowo emisje gazów cieplarnianych odniesiono do 1 ha uprawy, co

umożliwia bezpośrednie porównywanie wpływu uprawy różnych roślin na środowisko. By uniknąć dwuznaczności, w dalszej części pracy termin „ślad węglowy uprawy” (ślad węglowy) odnosi się do jednostki produktu ( $\text{kg CO}_2 \text{ ekw.} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), a pojęcie emisji gazów cieplarnianych (emisje GHG) do 1 ha uprawy ( $\text{kg CO}_2 \text{ ekw.} \cdot \text{ha}^{-1}$ ).

Zakres analiz obejmuje emisje  $\text{N}_2\text{O}$  i  $\text{CO}_2$  z gleby, a także emisje pochodzące z wytworzenia środków produkcji oraz wszystkie zabiegi agrotechniczne po zebraniu przedplonu, aż do zebrania plonu głównego i pobocznego (jeśli jest zbierany).

Bezpośrednie i pośrednie<sup>1</sup> (depozycja atmosferyczna spowodowana ulatnianiem amoniaku i tlenków azotu, przesiąkanie i spływ powierzchniowy azotanów) emisje podtlenku azotu z gleby ( $\text{N}_2\text{O}_{\text{Gleba}}$ ) obliczono, korzystając z przewodnika IPCC i domyślnych współczynników na poziomie Tier 1 (13). Wielkość emisji  $\text{N}_2\text{O}$  zależy między innymi od ilości azotu wnoszonego do gleby w postaci nawozów mineralnych, naturalnych, resztek roślinnych oraz wielkości mineralizacji węgla z substancji organicznej gleby, w wyniku zmian sposobu gospodarowania.

Uwzględniono emisje  $\text{CO}_2$  z gleby po zastosowaniu mocznika i nawozów wapniowych ( $\text{CO}_{2\text{Gleba}}$ ) (13).

Analizy obejmują emisje powstające przed bramą gospodarstwa, pochodzące z wytworzenia użytych środków produkcji, takich jak: nawozy mineralne ( $\text{Prod\_Naw\_Min}$ ), paliwo ( $\text{Prod\_Paliwo}$ ), maszyny ( $\text{Prod\_Maszyn}$ ), nasiona albo sadzeniaki ( $\text{Nasiona/Sadzeniaki}$ ) oraz środki ochrony roślin ( $\text{Prod\_ŚOR}$ ). Wartości przyjętych współczynników emisji wraz z referencjami przedstawiono szczegółowo w tabeli 2. Zużycie maszyn obliczono dla każdego wykonywanego zabiegu agrotechnicznego, przyjmując wagę maszyny i jej całkowity czas pracy za Nemeckiem i Kägim (20), według następującego wzoru:

$$\text{Zużycie maszyny [kg]} = \frac{\text{Czas zabiegu agrotechnicznego [h]}}{\text{Całkowity czas pracy maszyny [h]}} \times \text{Waga maszyny [kg]}$$

Gdzie:

*Czas zabiegu agrotechnicznego [h]* – czas zabiegu w godzinach;

*Całkowity czas pracy maszyny [h]* – przewidywany czas pracy, aż do całkowitego zużycia maszyny w godzinach.

Emisje z użycia maszyn policzono dla trzech kategorii: traktorów, maszyn rolniczych i kombajnów, przyjmując współczynniki emisji z tabeli 2. W pracy nie uwzględniono emisji pochodzących z powstawania i przechowywania nawozów naturalnych; przypisano je do produkcji zwierzęcej, co jest jednym ze stosowanych sposobów ich alokacji (18).

<sup>1</sup>Należy zwrócić uwagę na występowanie pewnej niespójności dotyczącej nazewnictwa emisji. W przewodniku IPCC (13) istnieje podział na bezpośrednie i pośrednie emisje  $\text{N}_2\text{O}$  z gleby, które to (obie kategorie) z punktu widzenia metodyki LCA są zaliczane do emisji bezpośrednich, występujących w systemie pierwszoplanowym (foreground system).

Zawartość azotu w nawozach naturalnych przyjęto zgodnie z normatywnymi produkcjami rolnej na poziomie  $5 \text{ kg N} \cdot \text{t}^{-1}$  dla obornika i  $4 \text{ kg N} \cdot \text{m}^{-3}$  dla gnojowicy (5). W opracowaniu założono zerowy bilans zmian glebowej materii organicznej.

Tabela 2

Ślad węglowy wytworzenia zastosowanych środków produkcji przyjętych w pracy

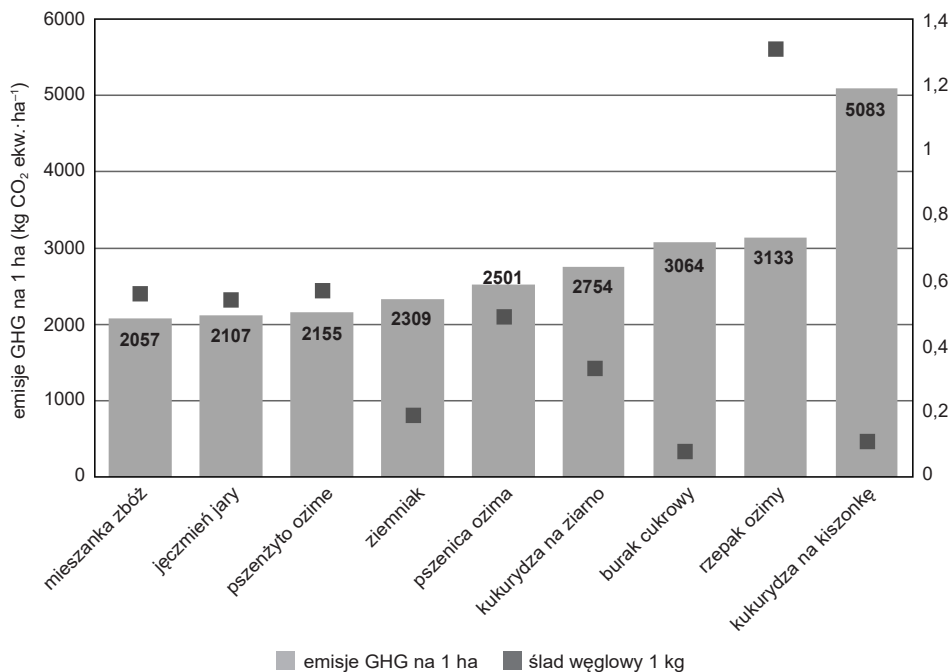
Środek produkcji	Oznaczenie	Jednostka	Emisje (kg CO <sub>2</sub> ekw. Jednostka)	Źródło
<b>Nawozy mineralne</b>	<i>Prod_Naw_Min</i>			
Azotowe		kg N	5,88	(18)
Fosforowe		kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,01	(18)
Potasowe		kg K <sub>2</sub> O	0,58	(18)
Wapniowe		kg CaO	0,13	(18)
<b>Środki ochrony roślin</b>	<i>Prod_ŚOR</i>	kg s.a.	10,97	(18)
<b>Paliwo</b>	<i>Prod_Paliwo</i>	l	3,15	(18)
<b>Maszyny rolnicze</b>	<i>Prod_Maszyn</i>			
Traktor		kg	7,78	(24) Tractor, 4-wheel, agricultural {RoW}  production   APOS, U
Maszyny		kg	5,56	(24) Agricultural machinery, unspecified {RoW} production APOS U
Kombajn		kg	6,66	(24) Harvester{RoW} production APOS U
<b>Nasiona/ Sadzeniaki*</b>	<i>Nasiona/ Sadzeniaki</i>	kg		
Pszenica ozima		kg	0,50	(4)
Pszenżyto ozime		kg	0,50	(4)
Jęczmień jary		kg	0,50	(4)
Mieszanka zbóż		kg	0,50	(4)
Kukurydza na ziarno		kg	0,90	(4)
Kukurydza na kiszonkę		kg	0,90	(4)
Ziemniak		kg	0,11	(4)
Burak cukrowy		kg	6,83	(4)
Rzepak ozimy		kg	1,40	(4)
<b>Nawozy naturalne</b>		t lub m <sup>3</sup>	0	(18)

\*dla nasion zbóż przyjęto wartość śladu węglowego nasion pszenicy ozimej

Źródło: opracowanie własne na podstawie źródeł wymienionych w tabeli

## Wyniki i dyskusja

Emisje gazów cieplarnianych z 1 ha uprawy zawierają się w przedziale od 2,1 (mieszanka zbożowa) do 5,1 t CO<sub>2</sub> ekw. · ha<sup>-1</sup> (kukurydza na kiszonkę) (rys. 1). Wielkość emisji jest wprost zależna od intensywności uprawy, zwłaszcza ilości użytych nawozów azotowych; dla mieszanki zbóż i kukurydzy na kiszonkę średnie ich zużycie wynosi odpowiednio: 134,7 kg · ha<sup>-1</sup> oraz 249,8 kg · ha<sup>-1</sup>.



Rys. 1. Emisje gazów cieplarnianych w odniesieniu do 1 ha uprawy (oś lewa, wykres słupkowy) i 1 kg plonu (oś prawa, wykres punktowy). Na osi poziomej roślina posortowano rosnąco względem wielkości emisji GHG na hektar uprawy

Źródło: opracowanie własne

Ślad węglowy badanych roślin uprawnych oraz udział poszczególnych źródeł emisji, takich jak: emisje podtlenku azotu i dwutlenku węgla z gleb oraz emisje powstałe podczas produkcji użytych nawozów mineralnych, środków ochrony roślin, paliwa, nasion oraz maszyn rolniczych, przedstawiono w tabeli 3. Ponieważ emisje gazów cieplarnianych odnoszone są do plonu, najmniejszy ślad węglowy 1 kg produktu mają rośliny dające relatywnie duży plon, tj.: burak cukrowy, kukurydza na kiszonkę i ziemniak. Wytworzenie 1 kg rzepaku obarczone jest emisją 1,31 kg CO<sub>2</sub> ekw. Ślad węglowy uprawy zbóż zawiera się w przedziale od 0,49 do 0,57 kg CO<sub>2</sub> ekw. · kg<sup>-1</sup> plonu i jest podobny do średniej dla zbóż uzyskanej w metaanalizie Clune'a i in. (6)

wynoszącej 0,53 kg CO<sub>2</sub> ekw. · kg<sup>-1</sup> (6). Należy zauważyć, że chociaż uprawa pszenicy ozimej powoduje największą emisję gazów cieplarnianych wśród analizowanych zbóż na 1 ha, to jej ślad węglowy w odniesieniu do 1 kg plonu jest najniższy ze względu na relatywnie najwyższy plon. Ślad węglowy produkcji 1 kg kukurydzy na ziarno oszacowano na 0,33 kg CO<sub>2</sub> ekw., co jest wynikiem znacząco mniejszym niż podany przez Clune'a i in. (6) (0,63 kg CO<sub>2</sub> ekw. · kg<sup>-1</sup>). Jednakże w pracy Holka i in. (10) otrzymano wyniki w zakresie 0,18–0,19 kg CO<sub>2</sub> ekw. · kg<sup>-1</sup> ziarna w zależności od systemu uprawy, natomiast w opracowaniu kanadyjskim (15) – w zakresie od 0,24 do 0,35 kg CO<sub>2</sub> ekw. · kg<sup>-1</sup> ziarna.

Średni ślad węglowy uprawy ziemniaka podany przez Clune'a i in. (6) wynosi 0,20 kg CO<sub>2</sub> ekw. · kg<sup>-1</sup> i jest bardzo zbliżony do wartości uzyskanej w tym opracowaniu (0,19 kg CO<sub>2</sub> ekw. · kg<sup>-1</sup>). Wielkość śladu węglowego uprawy buraka cukrowego i kukurydzy na kiszonkę w bazach danych Agro-Footprint i Ecoinvent wynosi odpowiednio: 0,08 kg CO<sub>2</sub> ekw. · kg<sup>-1</sup> i 0,11 kg CO<sub>2</sub> ekw. · kg<sup>-1</sup> (procesy: *Sugar beet, at farm PL Mass* (3) oraz *Maize silage {RoW}|production|APOS, S*) (19) i jest równa przedstawionym wynikom.

Tabela 3

Ślad węglowy głównych roślin uprawnych z udziałem rozpatrywanych kategorii emisji

Roślina	<i>N<sub>2</sub>O</i> _Gleba (kg CO <sub>2</sub> ekw. · kg <sup>-1</sup> )	<i>CO<sub>2</sub></i> _Gleba (kg CO <sub>2</sub> ekw. · kg <sup>-1</sup> )	<i>Prod_Naw_Min</i> (kg CO <sub>2</sub> ekw. · kg <sup>-1</sup> )	<i>Nasiona/ Sadzeniaki</i> (kg CO <sub>2</sub> ekw. · kg <sup>-1</sup> )	<i>Prod_ŚOR</i> (kg CO <sub>2</sub> ekw. · kg <sup>-1</sup> )	<i>Prod_Paliwo</i> (kg CO <sub>2</sub> ekw. · kg <sup>-1</sup> )	<i>Prod_Maszyn</i> (kg CO <sub>2</sub> ekw. · kg <sup>-1</sup> )	Ślad węglowy (kg CO <sub>2</sub> ekw. · kg <sup>-1</sup> )
Pszenica ozima	0,23	0,0038	0,13	0,0195	0,0039	0,07	0,026	0,49
Pszenżyto ozime	0,26	0,0021	0,17	0,0277	0,0034	0,08	0,035	0,57
Jęczmień jary	0,28	0,0036	0,12	0,0222	0,0029	0,08	0,034	0,54
Mieszanka zbóż	0,27	0,0044	0,13	0,0280	0,0027	0,09	0,039	0,56
Kukurydza na ziarno	0,17	0,0043	0,09	0,0038	0,0014	0,04	0,014	0,33
Kukurydza na kiszonkę	0,08	0,0009	0,02	0,0007	0,0002	0,01	0,003	0,11
Ziemniak	0,10	0,0016	0,02	0,0198	0,0011	0,03	0,015	0,19
Burak cukrowy	0,04	0,0003	0,02	0,0004	0,0009	0,01	0,004	0,08
Rzepak ozimy	0,65	0,0118	0,43	0,0021	0,0119	0,15	0,052	1,31

Źródło: opracowanie własne

Strukturę emisji gazów cieplarnianych analizowanych roślin uprawnych, w podziale na kategorie przedstawiono w Tabeli 4. Największym źródłem emisji gazów cieplarnianych dla wszystkich ziemiopłodów są emisje podtlenku azotu z gleby



stanowiące, w zależności od rośliny, od 46 do 72%. Dla zbóż udział tego źródła zawiera się w zakresie od 46 do 49%. Emisje  $N_2O$  w uprawie kukurydzy na kiszonkę stanowią 72%, co wynika z największej ilości azotu wnoszonego do gleby, w porównaniu z innymi roślinami. Wkład tego źródła w ślad węglowy uprawy ziemniaka wynosi 55,3% przy nawożeniu azotowym równym  $188,3 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ; dla pozostałych roślin waha się od 46 do 52% przy nawożeniu azotowym z zakresu od  $134,5$  do  $176,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Drugim w kolejności źródłem emisji jest produkcja nawozów mineralnych; w zależności od rośliny stanowi ona od 11 do 33% emisji całkowitych.

Tabela 4

Udział źródeł emisji w śladzie węglowym głównych upraw

Roślina	$N_2O_{\text{Gleba}}$ (%)	$CO_2_{\text{Gleba}}$ (%)	$Prod\_Naw\_Min$ (%)	$Nasiona/Sadzeniaki$ (%)	$Prod\_SOR$ (%)	$Prod\_Paliwo$ (%)	$Prod\_Maszyn$ (%)	Ślad węglowy (%)
Pszenica ozima	48,03	0,78	27,26	4,01	0,79	13,70	5,44	100,00
Pszczyto ozime	45,75	0,37	28,78	4,83	0,59	13,53	6,14	100,00
Jęczmień jary	51,09	0,67	22,82	4,11	0,54	14,38	6,40	100,00
Mieszanka zbóż	49,03	0,78	22,51	4,99	0,49	15,20	7,01	100,00
Kukurydza na ziarno	51,64	1,30	28,33	1,14	0,42	12,80	4,37	100,00
Kukurydza na kiszonkę	72,13	0,80	14,06	0,68	0,17	9,18	2,98	100,00
Ziemniak	55,34	0,84	11,24	10,42	0,61	13,69	7,86	100,00
Burak cukrowy	49,04	0,36	29,98	0,58	1,13	13,97	4,94	100,00
Rzepak ozimy	49,89	0,90	32,67	0,16	0,91	11,50	3,98	100,00
Średnia	52,44	0,76	24,18	3,44	0,63	13,10	5,46	100,00

Źródło: opracowanie własne

Analizy Hilliera i in. (9) dotyczące emisji gazów cieplarnianych z uprawy roślin strączkowych, zbóż jarych i ozimych, rzepaku i ziemniaka pokazują, iż średnio 75% emisji z uprawy jest skutkiem użycia nawozów azotowych (zarówno mineralnych, jak i naturalnych); przy czym brano pod uwagę zarówno produkcję nawozów mineralnych, jak i indukowane ich użyciem emisje  $N_2O$  z gleb. Według Holka i in. (10) nawożenie mineralne jest dominującym składnikiem śladu węglowego uprawy kukurydzy na ziarno, stanowiąc od 79,4 do 84,6% w zależności od systemu uprawy. Z kolei Jayasundara i in. (15) podają, że udział nawożenia azotowego w strukturze emisji w uprawie kukurydzy wynosi 72%. Podobny udział nawożenia został też

stwierdzony w polskich badaniach dotyczących uprawy rzepaku ozimego – 78% (1) oraz pszenicy ozimej – ponad 70% (11).

Produkcja i spalanie paliwa oraz użycie maszyn stanowi od 12 do 22% emisji z uprawy, mając najmniejszy udział w uprawie kukurydzy na kiszonkę, a największy w uprawie mieszanki zbóż i ziemniaka. Udział użytych nasion stanowi od 0,2 do 5% emisji, a w przypadku sadzoniaków ziemniaka – 10,4%. Środki ochrony roślin odpowiadają za 0,17–1,13% śladu węglowego uprawy.

### Podsumowanie

Oszacowane emisje gazów cieplarnianych pochodzące z uprawy głównych roślin, w odniesieniu do 1 ha uprawy wyniosły od 2,1 do 5,1 t CO<sub>2</sub> ekw. · ha<sup>-1</sup>. Można je uszeregować rosnąco, w następujący sposób: zboża < ziemniak < kukurydza na ziarno < burak cukrowy < rzepak ozimy < kukurydza na kiszonkę. Wielkość emisji jest miarą intensywności uprawy i zależy głównie od ilości azotu wnoszonego do gleby.

Wyznaczone wartości śladu węglowego (w odniesieniu do 1 kg produktu) wynosiły od 0,08 kg CO<sub>2</sub> ekw. · kg<sup>-1</sup> w uprawie buraka cukrowego do 1,31 kg CO<sub>2</sub> ekw. · kg<sup>-1</sup> w uprawie rzepaku; przyjmując dla zbóż średnio 0,54 kg CO<sub>2</sub> ekw. · kg<sup>-1</sup>. Ograniczenie śladu węglowego uprawy jest możliwe przy wykorzystaniu postępu technicznego i biologicznego; może nastąpić poprzez obniżenie emisji lub zwiększenie plonu.

Największy wkład w emisje gazów cieplarnianych w uprawie mają: emisje podtlenku azotu z gleby (52%), produkcja nawozów mineralnych (24%), a także produkcja paliwa oraz użycie maszyn rolniczych (19%). Pozostałe źródła, takie jak emisje CO<sub>2</sub> z gleb będące skutkiem użycia mocznika i nawozów wapniowych oraz emisje związane z produkcją środków ochrony roślin i nasion stanowią razem ok. 5%. Ze względu na strukturę emisji gazów cieplarnianych największy potencjał ograniczenia śladu węglowego upraw związanych jest z racjonalnym nawożeniem azotowym.

### Literatura

1. Bięńkowski J., Hołka M., Jankowiak J.: Ocena emisji GHG za pomocą śladu węglowego w intensywnej produkcji rolniczej, na przykładzie rzepaku ozimego. Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie – Problemy Rolnictwa Światowego, 2017, vol.17(32), 2: 18-28.
2. Bięńkowski J., Hołka M.: Cost and environmental efficiency in measuring the eco-efficiency performance of winter triticale production. BOOK OF PROCEEDINGS X International Scientific Agriculture Symposium “AGROSYM 2019”, Jahorina Bosnia Herzeg. 3–6 Oct 2019, p. 1325-1330.
3. Blonk Agri Footprint. Agri-Footprint® Database v. 2.0. 2015.
4. Bouchu J.L., Metayer N., Bordet C., Gimared M., Tuomisto H., Haastруп P., et al.: Development of Carbon Calculator to promote low carbon farming practices. 2013.
5. CDR. Normatywy produkcji rolniczej. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Oddział w Poznaniu. 2018 [cited 2019 Feb 11]. Protokół dostępu: <http://80.48.251.51/normatywy/Spis>

6. Clune S., Crossin E., Verghese K.: Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *Journal of Cleaner Production*, 2017, **140**: 766-783.
7. Google Scholar. Wyszukiwanie frazy ' „carbon footprint” AND cultivation ‘ pokazało 26100 wyników; wyszukiwanie dnia: 21-06-2022r.
8. GUS. Wyniki produkcji roślinnej w 2016 r.
9. Hillier J., Hawes C., Squire G., Hilton A., Wale S., Smith P.: The carbon footprints of food crop production. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 2009, **7(2)**: 107-118.
10. Holka M., Bieńkowski J.: Carbon footprint and life-cycle costs of maize production in conventional and non-inversion tillage systems. *Agronomy*. 2020, **10(12)**: 1-1877.
11. Holka M.: Life cycle assessment (lca) of winter wheat in an intensive crop production system in Wielkopolska region (Poland). *Applied Ecology and Environmental Research*, 2016, **14(3)**: 535-545.
12. <https://www.lcagri.iung.pl/pl/>
13. IPCC. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. World Business Council for Sustainable Development and World Resource Institute. 2006.
14. IPCC. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.; 2022.
15. Jayasundara S., Wagner-Riddle C., Dias G., Kariyapperuma K.A.: Energy and greenhouse gas intensity of corn (*Zea mays* L.) production in Ontario: A regional assessment. *Canadian Journal of Soil Science*, 2014, **94(1)**: 77-95.
16. KOBIZE. Poland's National Inventory Report 2021. Greenhouse Gas Inventory for 1988–2019. Submission under the UN Framework Convention on Climate Change and its Kyoto Protocol. 2021.
17. Łącznyński A.: Rocznik statystyczny rolnictwa 2017.
18. Neft J.: Biograce—complete list of standard values, Version 4 public to harmonise European GHG calculations. [Internet]. 2011 [cited 2018 Apr 11]. Protokół dostępu: <http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/standardvalues>
19. Nemecek T.: Maize silage {RoW}| production | APOS, S, ecoinvent database version 3.4
20. Nemecek T., Kägi T.: Life cycle inventories of agricultural production systems. 2007, **15**: 1-360.
21. Pandey D., Agrawal M.: Carbon footprint estimation in the agriculture sector. In: Muthu SS, editor. *Assessment of carbon footprint in different industrial sectors, Volume 1*. Singapore: Springer Singapore; 2014 [cited 2018 Mar 26]. p. 25-47. Protokół dostępu: [http://link.springer.com/10.1007/978-981-4560-41-2\\_2](http://link.springer.com/10.1007/978-981-4560-41-2_2)
22. Shukla P.R., Skea J., Calvo Buendia E., Masson-Delmotte V., Pörtner H.O., Roberts D.C., Zhai P., Slade R., Connors S., van Diemen R., Ferrat M., Haughey E., Luz S., Neogi S., Pathak M., Petzold J., Portugal Pereira J., Vyas P., Huntley E., Kissick K., Belkacemi M., Malley J. (eds.): *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. IPCC; 2019.
23. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (eds.): *Climate Change 2007: The Physical Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York. 2007. Protokół dostępu: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf).

- 
24. Wernet G., Bauer C., Steubing B., Reinhard J., Moreno-Ruiz E., Weidema B.: The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2016, **21(9)**: 1218-1230. Protokół dostępu: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>> [Accessed 05-07-2022].
  25. W i e d m a n n T., M i n x J.: A definition of ‘carbon footprint’. *Ecological Economics Research Trends*, 2008, **1**: 1-11.
  26. Z h a n g D., S h e n J., Z h a n g F., L i Y., Z h a n g W.: Carbon footprint of grain production in China. *Scientific Reports*, 2017, **7(1)**. Protokół dostępu: <http://www.nature.com/articles/s41598-017-04182-x>
- 

Adres do korespondencji:

*Tomasz Żyłowski*  
*Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8,*  
*24-100 Puławy*  
*tel. 81 4786 898*  
*email: Tomasz.Zylowski@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR  
Tomasz Żyłowski

ORCID  
0000-0002-6665-2787



**Robert Borek**

*Institut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy  
w Puławach*

**AGROLEŚNICTWO – SYSTEMY ROLNICZE ODPORNE NA ZMIANĘ  
KLIMATU\***

**Słowa kluczowe:** agroleśnictwo, systemy rolno-leśne, adaptacja do zmiany klimatu

---

**Wstęp**

Rolnictwo posiada znaczący potencjał dostosowania się do obserwowanych w XX i na początku XXI wieku globalnych zmian klimatycznych. Potencjał ten jest zależny nie tylko od intensywności rolnictwa na danym terenie, ale również od zasobów środowiska, w których to rolnictwo funkcjonuje. Zwraca się szczególną uwagę na potrzebę ochrony gleb i wód poprzez promowanie zrównoważonych metod uprawy i hodowli zwierząt, by w jak największym stopniu ograniczyć negatywne efekty związane z dostępnością tych zasobów w kontekście globalnego bezpieczeństwa żywnościowego. Z drugiej strony zagwarantowanie opłacalności produkcji żywności oraz zrównoważony rozwój obszarów wiejskich może być zapewniony poprzez wdrożenie systemowych, innowacyjnych technologii uprawy, które zwiększą konkurencyjność gospodarstw. Obecnie realizowana Wspólna Polityka Rolna kładzie nacisk na promowanie zrównoważonego gospodarowania, które polega na wytwarzaniu zdrowej i bezpiecznej żywności w sposób poprawiający stan środowiska przyrodniczego. Wskazuje przy tym, że prowadzenie zrównoważonego rolnictwa możliwe jest w znacznej mierze dzięki innowacjom, które polegają na tworzeniu i stosowaniu w praktyce nowych technologii produkcji, nowych usług i produktów, jak również nowych sposobów organizacji pracy.

---

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 8.0 pt. „Identyfikacja i opracowanie nowych krajowych wskaźników jednostkowych oraz zrównoważonych metod produkcji dla celów ochrony środowiska i przeciwdziałania zmianom klimatu w rolnictwie” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2022 r.

Działania związane z dostosowaniem rolnictwa do zmian klimatu są zapisane w dokumentach Strategii zrównoważonego rozwoju wsi, rolnictwa i rybactwa 2030 (35) oraz Polityce ekologicznej państwa 2030 (26). Przewidziane działania to między innymi: proekologiczne zarządzanie lokalnymi zasobami wodnymi, obejmujące także kształtowanie krajobrazów sprzyjających zatrzymywaniu wody, promowanie praktyk adaptacyjnych w rolnictwie oraz rozwój usług doradztwa rolniczego w zakresie nowych wymagań związanych ze zmianami klimatu. Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030 (34) określa cele i kierunki działań adaptacyjnych dla sektorów najbardziej podatnych na zmiany klimatu, w tym rolnictwa. Przewiduje między innymi politykę wsparcia inwestycyjnego gospodarstw oraz szkolenia i doradztwo technologiczne uwzględniające aspekty dostosowania produkcji rolnej do zwiększonego ryzyka klimatycznego i przeciwdziałania zmianom klimatu. Powyższe działania w pewnej mierze są realizowane przez instrumenty Planu Strategicznego WPR na lata 2023–2027 (28). Jednym z nich jest interwencja I 10.3. „Zakładanie systemów rolno-leśnych”.

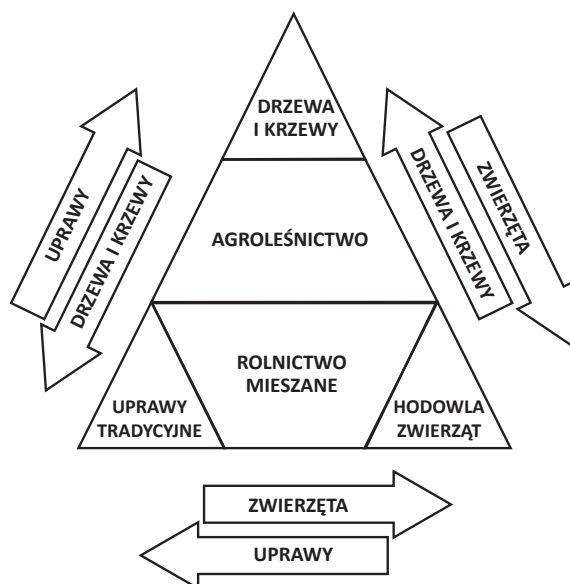
Celem pracy jest charakterystyka systemów rolno-leśnych w kontekście dostosowania produkcji rolniczej do skutków zmiany klimatu.

### **Rola agroleśnictwa w adaptacji rolnictwa do zmiany klimatu**

Agroleśnictwo lub system rolno-leśny jest to sposób użytkowania ziemi, który polega na jednoczesnej uprawie drzew oraz uprawie roślin polowych/chowie zwierząt na tym samym obszarze. Drzewa i krzewy są w celowy sposób zintegrowane z produkcją roślinną i zwierzęcą, dla jednoczesnego odniesienia korzyści środowiskowych i ekonomicznych. Wśród systemów rolno-leśnych możemy wyróżnić: leśno-orne systemy alejowe, sylwopastoralizm (praktyki leśno-pastwiskowe), żywopłoty, przeciwwietrzne lub przeciwerozyjne szpalery drzew, zadrzewione pasy buforowe oraz ogrody leśne.

Różnorodność typów w obrębie systemów rolno-leśnych świadczy o wielofunkcyjności zastosowań drzew w skali pola, gospodarstwa, jak i krajobrazu rolnego. Głównym celem uprawy drzew w połączeniu z tradycyjną produkcją roślinną lub wypasem zwierząt jest produkcja biomasy na cele energetyczne lub wysokogatunkowego drewna. Są to produkty z inwestycji długoterminowych. Istnieje również wiele alternatywnych sposobów wykorzystania biomasy pochodzącej z drzewa, np. dodatek do kompostu, ściółka dla zwierząt czy produkty uboczne z produkcji owoców. Dodatkowym komponentem pozostaje wciąż polowa produkcja rolnicza lub chów zwierząt, wytwarzające dobra, które są sprzedawane sezonowo. Podsumowując, podstawowym celem agroleśnictwa jest pozyskiwanie produktów rolnych z całego obszaru, na którym drzewa lub krzewy są zintegrowane z uprawą rolną lub chowem zwierząt, to jest zarówno z obszaru z nasadzeniami drzew i krzewów, jak również z gruntu ornego uprawianego pomiędzy nimi lub użytku zielonego.

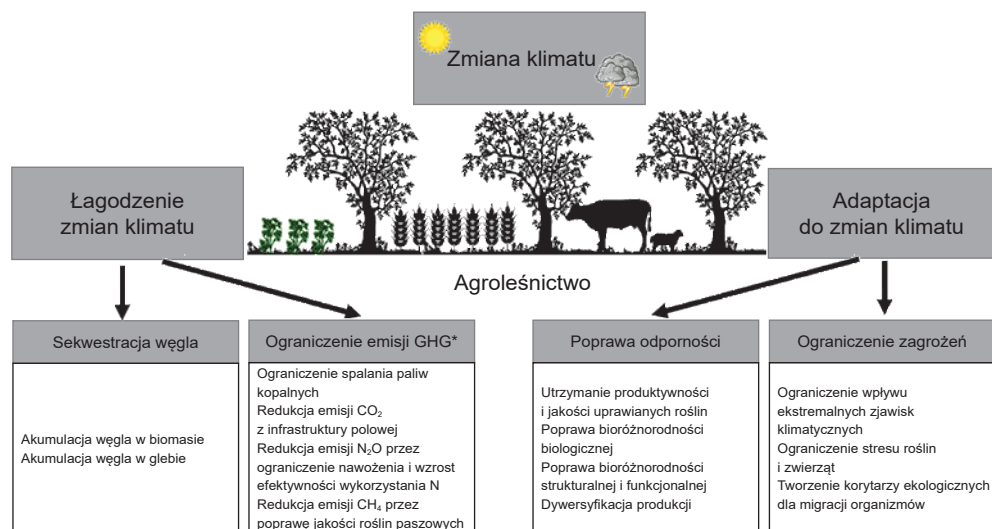
Z wielofunkcyjności agroleśnictwa wynika dywersyfikacja dochodów gospodarstwa rolnego (rys. 1) zwiększająca zarówno odporność gospodarstwa na zmiany, jak i bezpieczeństwo żywnościowe, zwłaszcza dla konsumentów zainteresowanych produktami lokalnymi.



Rys. 1. Agroleśnictwo pełni ważną rolę w zróżnicowaniu źródeł dochodów gospodarstwa rolnego  
Źródło: Burgess i Rosati, 2018 (4)

Jeśli częstość występowania susz, upałów czy okresów o niskiej sumie opadów wzrośnie do poziomu krytycznego dla bezpieczeństwa żywnościowego, systemy rolno-leśne mogą okazać się jedną z niewielu opcji umożliwiających utrzymanie produkcji rolniczej na użytkach rolnych. Ponadto systemy rolno-leśne posiadają jeden z najwyższych wskaźników sekwestracji węgla spośród technologii uprawy (rys. 2), wobec czego ich stosowanie może stanowić znaczące źródło dochodu w kontekście włączenia rolnictwa w handel emisjami gazów cieplarnianych. Rozpoczęcie wsparcia rolników w tym zakresie jest planowane przez Komisję Europejską od 2028 roku. Należy uznać, że potencjał akumulacji węgla w glebie upraw rolno-leśnych zawiera się w granicach  $0,3\text{--}2,7\text{ t C}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Zwiększanie zawartości materii organicznej w glebie bezpośrednio przekłada się na wzrost żyzności i zasobności gleby w wodę i składniki pokarmowe, stając się równocześnie praktyką adaptacyjną do zmiany klimatu. Stosowane w agroleśnictwie praktyki uprawy roślin i żywienia zwierząt mają również znaczący potencjał redukcji emisji gazów cieplarnianych (rys. 2).





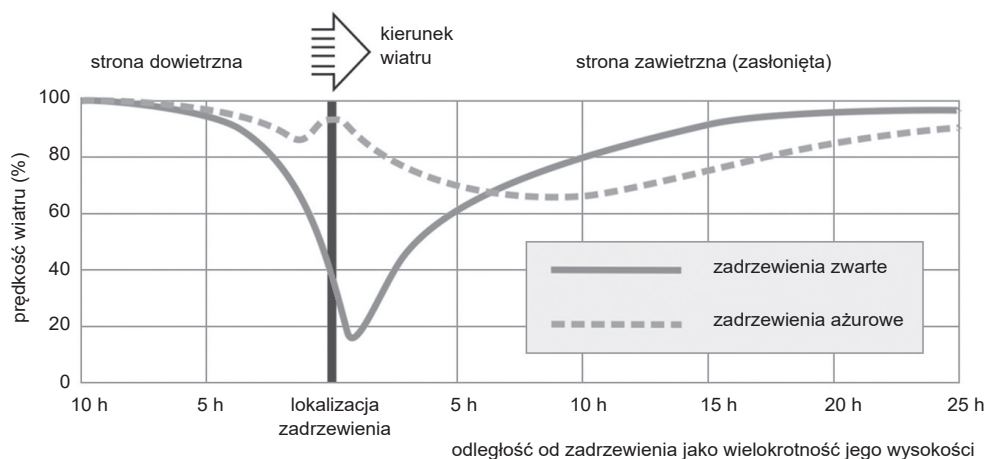
\*GHG – gazy cieplarniane

Rys. 2. Agroleśnictwo może pełnić kluczową rolę w przyszłej polityce klimatycznej, łącząc cele łagodzenia zmiany klimatu oraz adaptacji do nich

Źródło: Schoeneberger i in., 2012 (31)

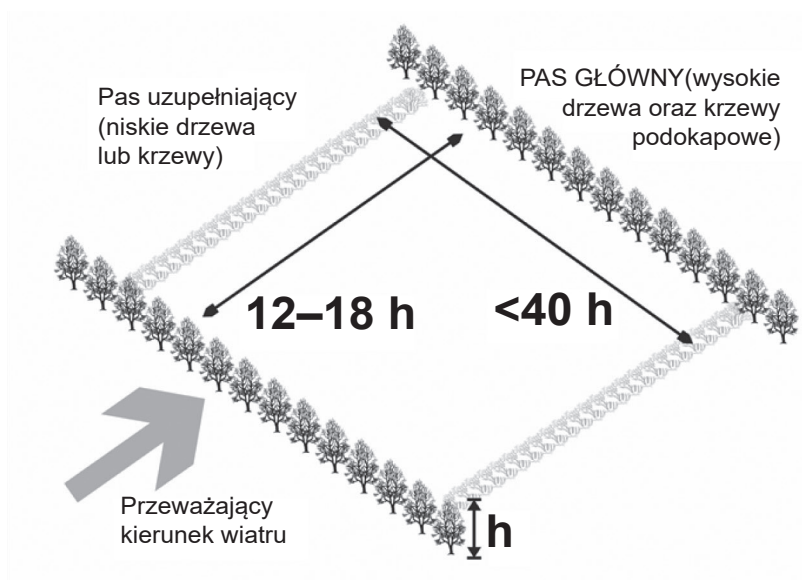
Systemy rolno-leśne zwiększają odporność ekosystemów rolniczych na wysokie amplitudy opadów i temperatury. Inaczej mówiąc, wzmacniają stabilność plonowania roślin polowych w okresach mokrych i suchych. Wynika to z kilku opisanych poniżej faktów.

Drzewa nasadzone w pasach w odpowiedniej lokalizacji, więźbie oraz o odpowiednim składzie gatunkowym pełnią funkcję przeciwwietrzną (rys. 3). Półprzepuszczalna struktura koron drzew zapewnia hamowanie strumienia powietrza dzięki wirom powodującym wytracanie energii. W efekcie tworzy się strefa przygruntowa, obejmująca łań roślin, charakteryzująca się zwiększoną wilgotnością powietrza w stosunku do warstwy znajdującej się powyżej. Podsumowując, drzewa ograniczają ruch powietrza w polu, co osłabia parowanie z roślin i gleby, a jednocześnie zwiększają wilgotność powietrza nad polem, chroniąc przed pionowym przechodzeniem pary wodnej z gleby do atmosfery. W efekcie następuje wzrost plonowania roślin uprawnych znajdujących się w największej strefie oddziaływania zadrzewień. Korzystniejsze warunki mikroklimatyczne mogą również wydłużyć okres uprawy roślin polowych. Zalecana odległość pasów przeciwwietrznych wynosi od 12 do 18 wielokrotności docelowej zadrzewienia i zależy od pojemności wodnej gleb oraz lokalnych uwarunkowań klimatyczno-opadowych (rys. 4).



Rys. 3. Efekt przeciwwietrzny pasa drzew zależy od jego gęstości i wysokości, w optymalnych warunkach sięgając do 500 m w głąb otwartego pola

Źródło: Zajączkowski i Zajączkowski, 2013 (36)

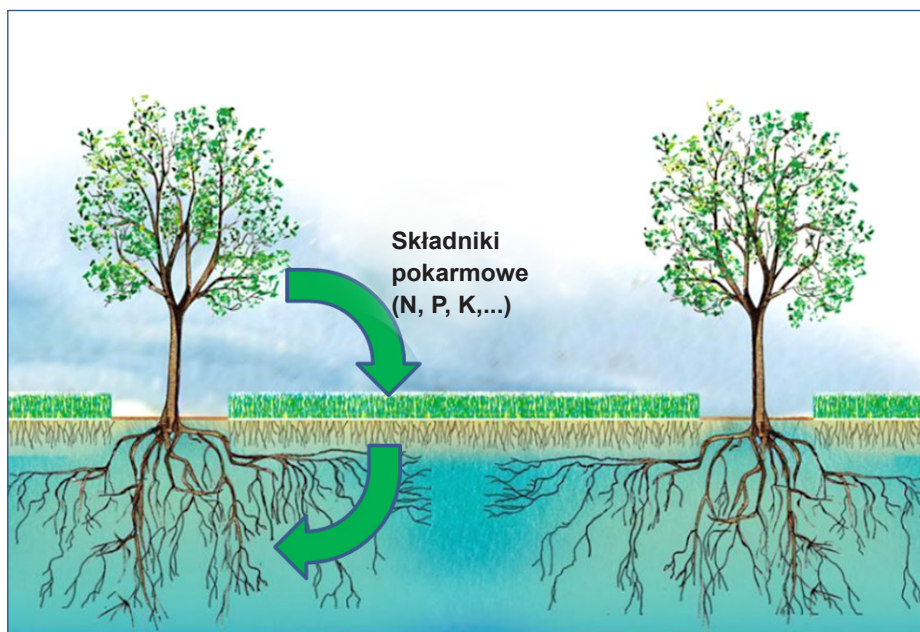


Rys. 4. Z powodu zmienności kierunków wiatrów główne pasy zadrzewieniowe powinny być uzupełnione prostokątnymi do nich pasami wspomagającymi, aby zapobiegać przyspieszaniu powietrza wzdłuż pasa

Źródło: Zajączkowski i Zajączkowski, 2013 (36)

Przeciwwietrzna rola zadrzewień ma również ważne znaczenie dla hamowania wiatrów zimowych wywiewających śnieg z pól. Nieregularne opady śniegu narażają coraz częściej uprawy ozime i glebę na przemarzanie. Dodatkowo osłona przed wiatrami zapobiega zwiewaniu śniegu do lokalnych obniżień, skąd podczas wiosennych roztopów większość wody ulega wyparowaniu.

Korzenie drzew w systemach rolno-leśnych pełnią rolę tzw. sieci bezpieczeństwa (rys. 5), przechwytyjąc składniki pokarmowe (makro- i mikroelementy) przemieszczające się w głąb profilu glebowego poza zasięg korzeni roślin uprawnych, a następnie oddając je jesienią wraz z opadającymi liśćmi i gałązkami. Ściółka i korzenie drzew są więc efektywnym filtrem redukującym zanieczyszczenie wód gruntowych przez nawozy i tym samym poprawiają efektywność wykorzystania składników nawozowych przez rośliny.



Rys. 5. Komplementarność korzeni drzew i roślin uprawnych systemu rolno-leśnego w obiegu składników mineralnych

Źródło: Dupraz i Liagre, 2008 (9), zmodyfikowane

Korzenie drzew współpracują również z grzybami, zwiększając dostępność składników pokarmowych oraz wody dla roślin, w zamian za część cukrów pobieranych z tkanki korzeniowej przez grzyby. Efektywność rozwoju mikoryzy zależy od stosowania zestawu dobrych praktyk jej sprzyjających, w tym optymalnego stosowania polepszaczy glebowych zawierających grzyby endomikoryzowe oraz wprowadzania do płodozmianu roślin bobowatych. Grzyby mikoryzowe mogą zwiększyć plonowa-

nie roślin uprawnych przez stymulację ich wzrostu, ograniczenie środowiskowego stresu (suszy, zasolenia, niedoboru składników pokarmowych, oddziaływania metali ciężkich, niekorzystnych warunków pH), kontrolę patogenów (aktywną i pasywną) oraz poprawę jakości odżywczej i zdrowotnej liści roślin żywicielskich.

Pod uprawami rolno-leśnymi można zaobserwować poprawę struktury i porowatości gleby oraz zwiększone pokrycie gleby ściółką w porównaniu z uprawami monokulturowymi. Prowadzi to do wzrostu infiltracji wody w głąb profilu oraz retencji glebowej, co może znacząco ograniczyć suszę rolniczą w okresach o niskiej sumie opadów. Z kolei w okresach zbyt wilgotnych, powodujących zalania i podtopienia upraw, korzenie drzew osuszają obszar rolniczy w wyniku wysokiej ewapotranspiracji.

Drzewa mogą również pozytywnie oddziaływać na jakość roślin uprawnych w międzyrzędziach, w szczególności roślin bogatych w białko, np. pszenicy durum (8). Taki efekt jest bardzo korzystny w przypadku trwałych użytków zielonych. Uważa się, że wzrost koncentracji dwutlenku węgla w powietrzu w kontekście globalnego ocieplenia zwiększa produktywność roślin, ale jednocześnie obniża zawartość białka oraz wartość żywieniową/paszową. Stwierdzono, że zacienienie traw w systemach leśno-pastwiskowych poprawia jakość paszy, zwiększając poziom białka w roślinie, a zmniejszając zawartość włókna surowego (15, 19). Dodatkowo mikroklimat stworzony przez oddziaływanie drzew może prowadzić do wzrostu plonowania traw w porównaniu z otwartym pastwiskiem, narażonym bardziej na stres suszy. Rolnicy wypasający zwierzęta na zadrzewionych pastwiskach w Polsce obserwują to zjawisko, jednak brak jest empirycznych danych potwierdzających je naukowo.

Na wielu obszarach Polski degradacja gleb doprowadziła do przyspieszenia procesów erozji gleb na nią podatnych. Wzrost średniej temperatury, częstsze występowanie nawałnych deszczów czy silnych wiatrów jeszcze bardziej wzmocniły ten proces. Burze piaskowe wywołane wywiewaniem cząstek gleby z przyległych pól można zaobserwować już corocznie na obszarach Wielkopolski, Kujaw czy Pomorza Zachodniego. Oprócz trwałości okrywy glebowej systemy rolno-leśne i zadrzewienia są najbardziej skuteczną formą ochrony przed erozją wietrzną (3, 10, 20). Erozja wodna gleby, która dotyka 21% użytków rolnych w Polsce jest powodem nie tylko degradacji gleby, ale również zanieczyszczenia wód związkami mineralnymi, co wiąże się ze wzrostem kosztów na zakup i zastosowanie nawozów rekompensujących połowę straty azotu i fosforu. Jest to szczególnie ważne w sytuacji światowego wzrostu cen nawozów. Ocenia się, że wzrost sumy opadów przyczynia się do zwiększenia wielkości strat gleby o 1,7 raza (23). Na glebach o nachyleniu powyżej 15% warstwa darni, którą zaleca się okrycie gleby może stracić swoją skuteczność wskutek zsuwania się po zboczu w wyniku naprzemiennego zamarzania i rozmarzania w okresie zimowym. Dlatego zaleca się tam wprowadzanie dobrze korzeniujących się gatunków krzewów o świetlistych koronach (3). Nair i in. (22) oraz Jose (14) twierdzą, że dzięki zastosowaniu systemów rolno-leśnych wymycie związków azotu do wód zostało ograniczone w zakresie 40–70%.

Systemy rolno-leśne poprawiają strukturę krajobrazu rolniczego i przyczyniają się do wzrostu bioróżnorodności w ekosystemach rolniczych. Zmiany klimatu w połączeniu ze wzrostem intensywności uprawy roli i nadmiernym wykorzystaniem nawozów mineralnych i pestycydów wywołały znaczące szkody w środowisku – zużyły zasobność gleb w mikroorganizmy i próchnicę, wywołały gradację agrofagów, ograniczyły liczebność dżdżownic, owadów i ptaków drapieżnych. Ocieplenie klimatu, zwłaszcza powiązane ze wzrostem średniej temperatury w okresach zimowych, doprowadziło do wzrostu zagrożenia chorobami i szkodnikami. Systemy rolno-leśne okazały się bardzo korzystne w regulacji liczebności szkodników pól uprawnych (1, 18), w szczególności poprzez wzrost aktywności i różnorodności naturalnych drapieżników mszyc (17). Agroleśnictwo dostarcza pożytku i miejsc gniazdowania dla dzikich pszczoł i innych owadów zapylających uprawy, co pociąga za sobą wzrost plonowania i wielkości biomasy resztek poźniwnych lub zielonych nawozów dostarczanych do gleby. Według Kay i in. (16) najbardziej pożyteczne w tym aspekcie jest wprowadzanie drzew owocowych, zwłaszcza wiśni. Należy zauważyć, że zadrzewienia i żywopłoty, znajdujące się na granicach pól mogą ochronić uprawy (szczególnie ekologiczne) przed znoszeniem cieczy opryskowej podczas ochrony chemicznej roślin.

Drzewa i krzewy zapewniają zwierzętom osłonę przed wiatrem i upałem, których częstotliwość i intensywność nasila się wraz ze zmianą klimatu. Cień zapewniony przez dobrze zaprojektowany system leśno-pastwiskowy pozwala ograniczyć docierające promieniowanie słoneczne o 58% w porównaniu z otwartym pastwiskiem, a temperaturę skóry wypasanego bydła nawet o 4°C. Wraz ze wzrostem dobrostanu zwierząt wzrasta również ich produktywność. Badania Mitlöhnnera i in. (21) wykazały, że bydło z dostępem do cienia osiągnęło o 20 dni wcześniej docelową masę ciała niż bydło kontrolne. Gregory (12) dowiódł, że pasy przeciwwietrzne zwiększyły plon traw na pastwiskach Nowej Zelandii, jednocześnie stymulując tempo owulacji bydła i owiec oraz przyrost wełny u drugiego gatunku, a także zmniejszyły śmiertelność jagniąt i stopień ich odrzucania przez maciorki. Wystawienie na działanie niesprzyjających warunków pogodowych w połączeniu z wygłodzeniem odpowiadało za 30% przypadków śmierci jagniąt, które tracą do 10°C temperatury ciała w ciągu pierwszych 30 minut życia, w związku z czym ich przeżywalność jest w dużym stopniu zależna od ochrony przed niekorzystnymi warunkami środowiska (27). Ochrona krów mlecznych przed słońcem zwiększa zawartość tłuszczu w mleku, zapobiega mastitis i poprawia rozrodczość. W przypadku bydła opasowego osiągane są lepsze wskaźniki przyrostu masy (12). Włoskie eksperymenty z drobiem w sadzie oliwnym potwierdziły, że w porównaniu z bezdrzewnym obiektem kontrolnym obecność drzew wpłynęła pozytywnie na jakość mięsa (wyższa zawartość witaminy E, kwasów tłuszczowych omega-3) (6), znacząco zmniejszyła agresywne zachowania osobnicze w stadzie oraz zapobiegła atakom drapieżników (7). Badania Paolottiego i in. (25) oraz Rocchiego i in. (29) pokazały, że utrzymywanie drobiu w sadzie może istotnie zmniejszyć ślad środowiskowy produkcji oraz pozwala uniknąć kosztów ponoszonych na nawożenie

i odchwaszczanie sadu. Wypas w sadach ogranicza rozprzestrzenianie się chorób grzybowych, których źródłem jest warstwa nierozłożonych liści przy gruncie (5).

### Adaptacja agroleśnictwa do zmiany klimatu

Agroleśnictwo może stanowić remedium na problemy rolnictwa w obliczu zmiany klimatu, jednak dynamika zmian środowiskowych, z jaką mamy do czynienia również wywołuje silną presję na same systemy rolno-leśne, w tym drzewa. Dla wzmocnienia odporności systemu zaleca się nasadzenie różnych odmian i gatunków drzew. Wzbogacenie asortymentu materiału genetycznego zwiększy zakres odporności plantacji na czynniki suszy, nawalnych opadów czy gradacji szkodników.

Agroleśnictwo jest metodą zarządzania gruntami, dzięki której możemy osiągnąć wyższą produktywność rolniczą w warunkach zwiększonej częstości występowania zjawisk katastrofalnych wywołanych zmianą klimatu. Potencjał produkcyjny systemów rolno-leśnych ma związek z poprawą wykorzystania zasobów pokarmowych przez sąsiadujące rośliny drzewne i uprawne (wody, światła, składników pokarmowych) oraz zwiększeniem korzystnych interakcji pomiędzy drzewami a chowanymi zwierzętami (poprawa dobrostanu, rozrodczości, zdrowia, a z drugiej strony zabezpieczenie warunków wzrostu i rozwoju drzew). Wskaźnikiem opisującym produktywność współrzędnych systemów alejowych jest wskaźnik wykorzystania (ekwiwalentu) gruntu (ang. *Land Equivalent Ratio* – LER) przedstawiony za pomocą równania:

$$\text{LER} = \frac{\text{Biomasa drzewna SRL}}{\text{Biomasa drzewna M}} + \frac{\text{Plon rośliny uprawnej SRL}}{\text{Plon rośliny uprawnej M}}$$

gdzie:

SRL – uprawa w systemie rolno-leśnym;

M – uprawa w monokulturze.

Stosunek ten opisuje względną powierzchnię gruntu, która jest wymagana do czystej uprawy gatunków roślin w celu uzyskania takiego samego plonu biomasy jak w uprawie wielouprawowej (polikulturze) lub w systemie rolno-leśnym. Wskaźnik LER porównuje więc łączną wielkość produkcji biomasy uzyskiwanej z gruntów uprawianych w polikulturze i biomasy z gruntów uprawianych w monokulturze.

Jeśli LER wynosi mniej niż 1, to oznacza, że czysta uprawa monokulturowa wykazuje wyższą produktywność niż system rolno-leśny. Wartość LER większa niż 1 oznacza, że uprawa rolno-leśna jest bardziej wydajna. Badania modelowe prowadzone w Europie wykazały wyższą produktywność systemów alejowych w stosunku do monokultur w zakresie 1–1,4 dla kilku scenariuszy z odmienną więźbą i gatunkami drzew we Francji, Hiszpanii i Holandii (11, 32). We współrzędnej uprawie topoli w krótkiej rotacji oraz pszenicy i jęczmienia w Brandenburgii uzyskano wskaźnik

LER w zakresie 1,1–1,6 (33). W Wielkiej Brytanii rolno-leśna uprawa wierzby energetycznej i pszenicy dała wynik LER równy 1,4 (24).

Uzyskanie wyższej produktywności w systemach rolno-leśnych w porównaniu z systemami monokulturowymi wynika z właściwego zaplanowania układu przestrzennego oraz składu gatunkowego, który będzie dostosowany do miejscowych uwarunkowań siedliskowo-klimatycznych, ale jednocześnie pozwoli na zachowanie funkcji ochronnych systemu. Selekcjonuje się genotypy drzew wykazujące wyższą efektywność pobrania składników pokarmowych i wody z głębszych warstw gleby przez system korzeniowy.

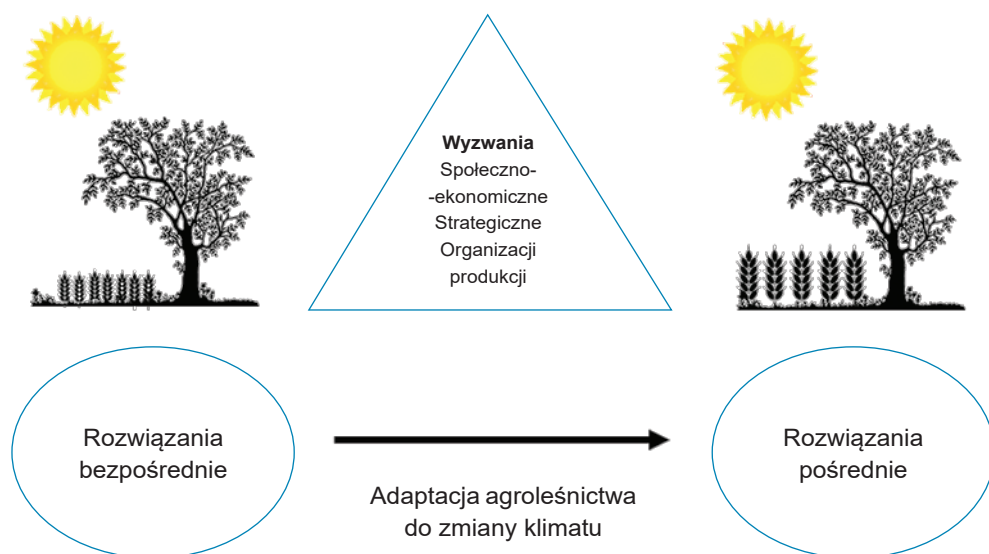
W celu ograniczenia konkurencyjności pomiędzy sąsiadującymi uprawami poszukuje się nowych odmian roślin żywnościowych i paszowych o zwiększonej tolerancji na zacienienie i zwiększonej produktywności lub wartości paszowej (2). Wiele gatunków cieniulubnych zidentyfikowanych w Ameryce Północnej udało się zaadaptować do europejskich warunków klimatu kontynentalnego, a niektóre z nich polecane są przez naukowców oraz firmy zajmujące się sprzedażą nasion jako gatunki paszowe idealne do uprawy w warunkach niewielkiego nasłonecznienia. Do najbardziej obiecujących gatunków traw paszowych, jakie można uprawiać w klimacie umiarkowanym należą: kupkówka pospolita (*Dactylis glomerata*), kostrzewa trzcinowa (*Festuca arundinacea*) i kostrzewa czerwona (*Festuca rubra*). Spośród roślin bobowatych polecane są koniczyna krwistoczerwona (*Trifolium incarnatum*) i koniczyna łąkowa (*Trifolium pratense*). Niektóre odmiany uprawne życicy trwałej (*Lolium perenne*) i wiechliny łąkowej (*Poa pratensis*) wykazują zadowalającą zdolność adaptacji do warunków zacienienia. Zazwyczaj jednak uprawia się mieszankę gatunków/odmian w celu zapewnienia stabilnej i optymalnej jakości darni.

Lokalny wymiar adaptacji do zmiany klimatu poprzez wdrażanie agroleśnictwa bardzo dobrze wpisuje się w proces opracowania lokalnej innowacji i skrócenia łańcuchów dostaw. W kontekście agronomicznym ważną rolę może odgrywać opracowanie technologii podnoszących efektywność nawodnień drzew, identyfikacja roślin leczniczych i aromatycznych o wielofunkcyjnym wykorzystaniu w przetwórstwie czy optymalizacja zarządzania pastwiskiem poprzez wypas rotacyjny. Inwestycje w agrotechnologie mają większą szansę powodzenia, jeśli łączone są z inwestycjami procesowymi i organizacyjnymi we współpracy z innymi rolnikami i lokalnymi przetwórcami. Przykładem źródła finansowania tego typu przedsięwzięć jest działanie „Współpraca” (37) w ramach finansowania Wspólnej Polityki Rolnej na tworzenie i funkcjonowanie grup operacyjnych na rzecz innowacji.

### **Poprawa efektywności agroleśnictwa w adaptacji do zmiany klimatu**

Upowszechnianie systemów rolno-leśnych w kontekście postępującej zmiany klimatu wiąże się z licznymi wyzwaniami (rys. 6). Ważnym czynnikiem ograniczającym możliwość wprowadzenia alejowych form systemów rolno-leśnych na gruntach ornych

jest struktura gospodarstw. Zakładanie i pielęgnacja nasadzeń drzew są kosztowne. Długoterminowa inwestycja w surowiec drzewny w systemach agroleśnych niesie za sobą znaczne ryzyko finansowe dla producenta. W porównaniu z uprawami rolnymi zbieranymi i sprzedawanymi corocznie, dwukierunkowa produkcja w agroleśnictwie prowadzi do utracenia dochodów z produkcji rolnej. Wytwarzanie produktów o wysokiej wartości dodanej w takich systemach wymaga wyposażenia gospodarstw rolnych w maszyny i urządzenia umożliwiające zastosowanie innowacyjnych technologii. Wielkość gospodarstwa może więc wpływać znacząco na decyzję rolnika o wielkości powierzchni gruntów, którą decyduje się przeznaczyć w gospodarstwie na wieloletnie systemy rolno-leśne. Drugim istotnym kryterium jest struktura działek rolnych.



Rys. 6. Adaptacja agroleśnictwa do zmiany klimatu jest skuteczna po pokonaniu barier wyznaczonych przez wyzwania, przed jakimi stoi jego rozwój. Cel ten może być osiągnięty poprzez wdrożenie pośrednich rozwiązań poprawiających efektywność

Źródło: opracowanie własne

Pomimo ograniczeń strukturalnych dla wprowadzenia alejowych systemów rolno-leśnych trend wzrastającej powierzchni gospodarstw może znacząco poprawić potencjał produkcyjny agroleśnictwa w Polsce, w szczególności systemów z drzewami uprawianymi na surowiec meblarski lub biomasę. Z drugiej strony należy zauważyć, że wprowadzanie drzew lub krzewów owocowych w uprawach współrzędnych (produkcja warzyw lub ziół) lub w połączeniu z wypasem zwierząt (drobiu, owiec, bydła) może istotnie polepszyć kondycję ekonomiczną małych gospodarstw rodzinnych oraz zwiększyć efektywność wykorzystania gruntów o rozdrobnionej strukturze (celem upraw współrzędnych jest osiągnięcie wyższego wskaźnika wykorzystania powierzchni gruntu na cele produkcyjne). Systemy leśno-pastwiskowe są efektywnym



sposobem zagospodarowania gruntów marginalnych, o słabej przydatności produkcyjnej. Barię zapewnienia odpowiedniej ilości paszy z takich gruntów może być jednak ich struktura własnościowa.

Infrastruktura przetwórstwa rolno-spożywczego w Polsce jest wciąż niedostatecznie rozwinięta, ograniczając sprzedaż produktów wysokiej jakości. Mniejszy asortyment produktów rolnych na rynku w porównaniu z państwami Europy Zachodniej jest również związany z niską świadomością społeczną w zakresie zdrowego stylu życia, ochrony środowiska i klimatu. Wiedza na temat możliwości zastosowania agroleśnictwa i produktów, jakie może oferować jest stosunkowo niska. Wsparcie finansowe systemów rolno-leśnych zaplanowane w ramach WPR 2023-2027 jest niewystarczające do rozwoju sektora i obciążone licznymi restrykcjami. Producenci, którzy chcieliby zakładać systemy rolno-leśne na użytkach rolnych, a nie mogliby korzystać, z różnych względów, z oferowanego rządowego wsparcia, są narażeni na utratę płatności bezpośrednich WPR z powodu przekroczenia limitu 100 drzew na hektarze lub nadmiernego pokrycia gruntów przez korony drzew. Zaplanowanie układu, więzby i składu gatunkowego w agroleśnictwie jest niezwykle trudne, gdyż efektywność produkcji rolnej oraz trwałość i jakość zasadzonych drzew zależą od dopasowania systemu do lokalnych warunków glebowo-klimatycznych. Ograniczeniem rozwoju agroleśnictwa w Polsce mogą być niekorzystne warunki glebowe, zwłaszcza gleby klasy 6, występowanie obszarów Natura 2000, w obrębie których zadrzewianie nie jest dozwolone oraz obszary drenowane i nawadniane. Pielęgnacja plantacji rolno-leśnej wymaga również monitoringu i eksperckiej wiedzy, zwłaszcza w zakresie prowadzenia drzew i ich ochrony przed szkodnikami, chorobami i zwierzyną. Brak jest również informacji na temat maszyn mogących mieć zastosowanie w agroleśnictwie.

Hernandez-Morcillo i in. (13) zidentyfikowali szereg bezpośrednich i pośrednich rozwiązań poprawiających adaptację agroleśnictwa do zmian klimatu oraz poziom zrównoważenia systemu rolniczego (rys. 7).

Wpływ czynników ryzyka można znacząco ograniczyć poprzez transfer wiedzy. Najbardziej skuteczną wydaje się wymiana informacji pomiędzy samymi rolnikami oraz wykorzystanie elektronicznego systemu wsparcia decyzji. Współdziałanie producentów w przedmiocie wynajmu specjalistycznych maszyn i sprzedaży produktów pozwala istotnie zredukować koszty produkcji. Ponadto w warunkach globalizacji rynku rolnego i światowego kryzysu żywnościowego wywołanego atakiem militarnym Rosji uprawa roślin/chów zwierząt może stać się bardziej opłacalna poprzez podwyższenie wartości dodanej produktów wytwarzanych w systemach rolno-leśnych. Zorganizowana grupa rolników może wytwarzać i sprzedawać przetworzony innowacyjny produkt z drzew/drewna lokalnym odbiorcom. Dla upowszechnienia tego typu rozwiązań ważne są: organizacja wyjazdów zainteresowanych osób do działających pilotażowych obiektów, opracowanie narzędzi wsparcia decyzji dla działań w tym segmencie rynku oraz budowa sieci rolników i doradców pozwalającej na wymianę doświadczeń.



Rys. 7. Skuteczność adaptacji agroleśnictwa do zmian klimatu zależy od podejmowania działań na różnych poziomach decyzyjnych (polityka państwa, lokalna społeczność, gospodarstwo)

Źródło: na podstawie Hernandez-Morcillo, 2018 (13)

Dla rozwoju agroleśnictwa pomocne jest zidentyfikowanie kryteriów mogących mieć zastosowanie do produktów o wysokiej wartości dodanej z systemów rolno-leśnych uprawianych w sposób zrównoważony oraz opracowanie systemu certyfikacji. Spora część gospodarstw posiadających systemy rolno-leśne może być kwalifikowana jako ekologiczna, wytwarzająca regionalne czy tradycyjne produkty lub spełniająca wymogi niskoemisyjnych certyfikatów rolnictwa węglowego.

Istotnym bodźcem wzrostu powierzchni systemów rolno-leśnych jest tworzenie wartości dodanej przez wycenę świadczeń ekosystemowych dostarczanych przez ten sposób użytkowania gruntów (30). Najważniejszą rolę w uzewnętrznieniu wartości monetarnej usług ekosystemowych w rolnictwie spełniają płatności rolno-środowiskowe WPR, jednak coraz większego znaczenia nabierają inicjatywy prywatne, wyceniające usługi w ramach strategii marketingowej. Metoda ta może mieć związek z opracowaniem przez firmy różnych modeli biznesowych sprzedaży, polityką sponsoringu lub prośrodowiskowym podejściem do społecznej odpowiedzialności biznesu. Korzystać z tego podejścia mogą również rolnicy podpisujący umowy kontraktowe z przedsiębiorstwami realizującymi powyższą politykę sprzedaży.

Opracowanie nowych, innowacyjnych produktów o wartości dodanej, rozwój niszowych rynków żywności, systemów certyfikacji, poprawa wiedzy i świadomości rolników oraz konsumentów wymaga czasu. Aby systemy rolno-leśne mogły rozwijać się w Polsce i znacząco przyczynić się do złagodzenia zagrożeń produkcji wywołanych przez zmianę klimatu, w początkowym okresie konieczne jest uruchomienie

rządowego wsparcia powiązanego z wynagradzaniem rolników za dobra publiczne przez nich dostarczane.

### Podsumowanie

Uważa się, że rozwój efektywnych i zoptymalizowanych systemów gospodarowania gruntami w rolnictwie jest jednym z podstawowych elementów strategii przeciwdziałania zagrożeniom środowiskowym i adaptacji do zmian klimatycznych. Wydaje się również ważnym kierunkiem dostosowania się do ryzyka rynkowego.

Systemy rolno-leśne mogą się okazać jedną z niewielu opcji umożliwiających utrzymanie produkcji rolniczej w warunkach zmiany klimatu. Posiadają wysoki potencjał zarówno w redukcji emisji gazów cieplarnianych, jak i adaptacji do skutków globalnego ocieplenia. Obiekty doświadczalne, w których uzyskuje się wyższą produktywność w systemach rolno-leśnych względem systemów monokulturowych zachęcają do prowadzenia badań w zakresie optymalizacji układu przestrzennego oraz selekcji odpowiednich genotypów drzew, roślin żywnościowych i paszowych, wykazujących zwiększone dostosowanie do lokalnych uwarunkowań agroleśnictwa i zagrożeń klimatycznych. Lokalny wymiar adaptacji do zmian klimatu powinien być powiązany z wdrażaniem procesowych i organizacyjnych innowacji w przetwórstwie i sprzedaży produktów rolno-leśnych o wysokiej wartości dodanej.

Przytoczone w pracy rekomendacje wskazują na potrzebę dostosowania istniejących rozwiązań technologicznych do uwarunkowań środowiskowych i organizacyjnych gospodarstw w Polsce. Wykorzystanie agroleśnictwa w dostosowaniu polskiego rolnictwa do zmian klimatu wymaga pokonania barier społeczno-ekonomicznych, strategicznych oraz organizacyjnych w zakresie produkcji. Najbardziej skuteczną jest wymiana wiedzy oraz współpraca pomiędzy rolnikami. Postęp w informatyzacji umożliwia zastosowanie systemów wsparcia decyzji podejmowanych przez rolnika w czasie rzeczywistym. Istotnym bodźcem rozwoju agroleśnictwa może być opracowanie systemu jakości dedykowanego dla tego systemu. Efektem będzie oszczędność środków produkcji, co zmniejszy ryzyko zanieczyszczenia środowiska i podniesie odporność na stresy środowiskowe. Proces dostosowania agroleśnictwa do zmian jest jednak bardzo powolny. W celu poprawy efektywności i skuteczności stosowania praktyk rolno-leśnych niezbędne jest wynagradzanie rolników za usługi ekosystemowe przez nich świadczone.

## Literatura

1. Altieri M.A., Nicholls C.I.: Ecologically based pest management in agroforestry systems. W: D.R. Batish, R.K. Kohli, S. Jose, H.P. Singh (eds): Ecological basis of agroforestry. CRC Press, Boca Raton, 2008, ss. 95-106.
2. Borek R., Mosquera-Losada M.: Trawy i rośliny bobowate odporne na zacienienie. Wykorzystanie na cele paszowe. Broszura AFINET, 2019. [https://agrolesnictwo.pl/wp-content/uploads/2021/03/43\\_Trawy\\_i\\_rosliny\\_bobowate\\_zacienienie\\_Print.pdf](https://agrolesnictwo.pl/wp-content/uploads/2021/03/43_Trawy_i_rosliny_bobowate_zacienienie_Print.pdf)
3. Borek R., Zajączkowski J., Wójcik M., Malusa E., Tartanus M., Furmańczyk E., Jędrejek A., Kozyra J., Kozak M.: Agroleşnictwo (systemy rolno-leśne). Poradnik dla rolników i doradców rolnych. IUNG-PIB, Puławy, 2022, ss. 81.
4. Burgess P., Rosati A.: Advances in European agroforestry: results from the AGFORWARD project. Agroforestry Systems, 2018, **92**: 801-810. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0261-3>
5. Burgess P., Upson M., Graves A., Garcia de Jalon S.: System report: grazed orchards in England and Wales, 2016. <http://www.agforward.eu/index.php/en/grazed-orchards-in-northern-ireland-uk.html>
6. Carton Mancinelli A., Mattioli S., Dal Bosco A., Piottoli L., Ranucci D., Branciarri R., Cotozzolo E., Castellini C.: Rearing Romagnola geese in vineyard: pasture and antioxidant intake, performance, carcass and meat quality. Italian Journal of Animal Science, 2019, **18(1)**: 372-380. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1530960>
7. Dal Bosco A., Mugnai C., Rosati A., Paoletti A., Caporali S., Castellini C.: Effect of range enrichment on performance, behavior, and forage intake of free-range chickens. Journal of Applied Poultry Research, 2014, **23(2)**: 137-145. <https://doi.org/10.3382/japr.2013-00814>
8. Dufour L., Metay A., Talbot G., Dupraz C.: Assessing light competition for cereal production in temperate agroforestry systems using experimentation and crop modelling. Journal of Agronomy and Crop Science, 2013, **199(3)**: 217-227. <https://doi.org/10.1111/jac.12008>
9. Dupraz C., Liagre F.: Agroforesterie, des arbres et des cultures. Éditions France Agricole, 2008.
10. Garrett H.E., McGraw R.L., Walter W.D.: Alley cropping practices. W: H.E. Garrett (ed.): North American agroforestry: an integrated science and practice. II wydanie, American Society of Agronomy, Madison 2009, pp. 133-162.
11. Graves A.R., Burgess P.J., Palma J.H., Herzog F., Moreno G., Bertomeu M., Dupraz C., Liagre F., Keesmanf K., van der Werf W., de Nooyg A.K., van den Briel J.P.: Development and application of bio-economic modelling to compare silvoarable, arable, and forestry systems in three European countries. Ecological Engineering, 2007, **29.4**: 434-449. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.09.018>
12. Gregory N.G.: The role of shelterbelts in protecting livestock: a review. New Zeland Journal of Agricultural Research, 1995, **35**: 423-450. <https://doi.org/10.1080/00288233.1995.9513146>
13. Hernández-Morcillo M., Burgess P., Mirck J., Pantera A., Plieninger T.: Scanning agroforestry-based solutions for climate change mitigation and adaptation in Europe. Environmental Science & Policy, 2018, **80**: 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.11.013>
14. Jose S.: Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. Agroforestry Systems, 2009, **76**: 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>
15. Kallenbach R.L., Kerley M.S., Bishop-Hurley G.J.: Cumulative forage production, forage quality and livestock performance from an annual ryegrass and cereal rye mixture in a pine-walnut silvopasture. Agroforestry Systems, 2006, **66**: 43-53. <https://doi.org/10.1007/s10457-005-6640-6>

16. Kay S., Crous-Duran J., García de Jalón S., Graves A., Ferreiro-Domínguez N., Moreno G., Mosquera-Losada M.R., Palma J.H., Roces-Díaz J.V., Santiago-Freijanes J.J., Szerencsits E., Weibel R., Herzog F.: Spatial similarities between European agroforestry systems and ecosystem services at the landscape scale. *Agroforestry Systems*, 2018, **92**: 1075-1089. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0132-3>
17. Langer V.: The potential of leys and short rotation coppice hedges as reservoirs for parasitoids of cereal aphids in organic agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2001, **87**: 81-92. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00298-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00298-X)
18. Letourneau D.K., van Bruggen A.: Crop protection in organic agriculture. W: P. Kristiansen, A. Taji, J. Reganold (eds): *Organic agriculture: a global perspective*. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia, 2006, pp. 93-121.
19. Lin C.H., McGraw M.L., George M.F., Garrett H.E.: Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forage species with agroforestry potential. *Agroforestry Systems*, 2001, **53(3)**: 269-281. <https://doi.org/10.1023/A:1013323409839>
20. McIvor I., Youjun H., Daoping L., Eyles G., Pu Z.: Agroforestry: conservation trees and erosion prevention. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 2014, **1**: 208-221. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00247-3>
21. Mitlöchner F.M., Morrow J.L., Dailey J.W., Wilson S.C., Galyean M.L., Miller M.F., McGlone J.J.: Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 2001, **79**: 2327-2335. <https://doi.org/10.2527/2001.7992327x>
22. Nair P.K.R.: Methodological challenges in estimating carbon sequestration potential of agroforestry systems. W: B.M. Kumar, P.K.R. Nair (eds): *Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems: Opportunities and Challenges*. Vol. 8: *Advances in Agroforestry*, New York: Springer, 2011, p. 3-16.
23. Nearing M.A., Pruski F.F., O'Neal M.R.: Expected climate change impacts on soil erosion rates: A review. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, **59(1)**: 43-50. <https://www.jswconline.org/content/59/1/43>
24. ORC (Organic Research Centre) [www.organicresearchcentre.com/wp-content/uploads/2020/09/WAF\\_FINAL\\_LOWESTres\\_spreads.pdf](http://www.organicresearchcentre.com/wp-content/uploads/2020/09/WAF_FINAL_LOWESTres_spreads.pdf)
25. Paolotti L., Boggia A., Castellini C., Rocchi L., Rosati A.: Combining livestock and tree crops to improve sustainability in agriculture: a case study using the life cycle assessment (LCA) approach. *Journal of Cleaner Production*, 2016, **131**: 351-363. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.024>
26. PEP (Polityka Ekologiczna Państwa 2030): Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 2019, ss. 356. [https://bip.mos.gov.pl/fileadmin/user\\_upload/bip/strategie\\_plany\\_programy/Polityka\\_Ekologiczna\\_Panstwa/Polityka\\_Ekologiczna\\_Panstwa\\_2030.pdf](https://bip.mos.gov.pl/fileadmin/user_upload/bip/strategie_plany_programy/Polityka_Ekologiczna_Panstwa/Polityka_Ekologiczna_Panstwa_2030.pdf)
27. Pent G.J.: Lamb performance, behavior, and body temperatures in hardwood silvopasture systems. PhD Thesis, 2017. Virginia Polytechnic Institute and State University. [https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/76730/Pent\\_G\\_D\\_2017.pdf?sequence=2](https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/76730/Pent_G_D_2017.pdf?sequence=2)
28. PS (Projekt Planu Strategicznego dla WPR na lata 2023-2027 (wersja 4.0) – projekt przyjęty przez Radę Ministrów i przekazany do KE): Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, ss. 783. <https://www.gov.pl/web/wprpo2020/plan-strategiczny-dla-wpr-na-lata-2023-2027-wersja-40--przyjety-przez-rade-ministrow>
29. Rocchi L., Paolotti L., Rosati A., Boggia A., Castellini C.: Assessing the sustainability of different poultry production systems: a multicriteria approach. *Journal of Cleaner Production*, 2019, **211**: 103-114. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.013>
30. Rosati A., Borek R., Canali S.: Agroforestry and organic agriculture. *Agroforestry Systems*, 2021, **95**: 805-821.

31. Schoeneberger M., Bentrup G., De Gooijer H., Soolanayakanahally R., Sauer T., Brandle J., Zhou X., Current D.: Branching out: Agroforestry as a climate change mitigation and adaptation tool for agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, **67(5)**: 128A-136A. <https://doi.org/10.2489/jswc.67.5.128A>
32. Sereke F., Graves A.R., Dux D., Palma J.H.N., Herzog F.: Innovative agroecosystem goods and services: Key profitability drivers in Swiss agroforestry. *Agronomy for Sustainable Development*, 2014, **35**: 759-770. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0261-2>
33. Seseerman D.M., Freese D., Swieter A., Langhof M., Veste M.: Trade-off between energy wood and grain production in temperate alley-cropping systems: an empirical and simulation-based derivation of land equivalent ratio. *Agriculture*, 2019, **9(7)**: 147. <https://doi.org/10.3390/agriculture9070147>
34. SPA (Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030): Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 2013, ss. 60. <https://bip.mos.gov.pl/strategie-plany-programy/strategiczny-plan-adaptacji-2020/>
35. SZRWRiR (Strategia Zrównoważonego Rozwoju Wsi, Rolnictwa i Rybactwa 2030): Monitor Polski, Poz. 1150, ss. 172. <https://www.gov.pl/attachment/5473c321-ae03-471d-b25d-8473a00fda8f>
36. Zajączkowski J., Zajączkowski K.: Hodowla lasu. Zadrzewienia. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa 2013, ss. 179
37. <https://sir.cdr.gov.pl/dzialanie-wspolpraca/>

---

Adres do korespondencji:

*dr inż. Robert Borek*  
*Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8,*  
*24-100 Puławy*  
*tel. 81 4786 763*  
*email: rborek@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR	ORCID
Robert Borek	0000-0001-9414-3181



Zuzanna Jarosz, Antoni Faber

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy  
w Puławach*

## WIELKOŚĆ EMISJI GAZÓW CIEPLARNIANYCH W ZALEŻNOŚCI OD SYSTEMU UPRAWY\*

**Słowa kluczowe:** symulacje, system uprawy, emisja, gazy cieplarniane, globalny potencjał ocieplenia

### Wstęp

W perspektywie długoterminowej, już w październiku 2014 r. Rada Europy zatwierdziła porozumienie w sprawie ram polityki klimatycznej do 2030 r. (Pakiet klimatyczno-energetyczny 2030). Podstawowym celem była redukcja emisji gazów cieplarnianych (GHG) w Unii Europejskiej o co najmniej 40% w porównaniu z rokiem 1990. Nieco mniejsze wymagania określono dla sektorów (w tym rolnictwa) nieobjętych systemem handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych (non-ETS). Zdecydowano, że w tym obszarze emisja GHG w całej UE zostanie zredukowana o 30% w stosunku do roku 2005, a w przypadku Polski ograniczenie to powinno wynosić 7% (1).

W październiku 2018 r. Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu – IPCC (ang. *Intergovernmental Panel on Climate Change*) opublikował specjalny raport, w którym wskazano konieczność podjęcia bardziej radykalnych działań związanych z ograniczeniem emisji gazów cieplarnianych i zmianami klimatu (8). Stwierdzono, że utrzymanie wzrostu średniej temperatury powietrza poniżej 2°C, jak przyjęto w porozumieniu paryskim, może być niewystarczające. Otwarto nowe pole do dyskusji nad tworzeniem ram polityki klimatycznej do 2030 r. i sposobem realizacji wyznaczonych celów.

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 8.0 pt. „Identyfikacja i opracowanie nowych krajowych wskaźników jednostkowych oraz zrównoważonych metod produkcji dla celów ochrony środowiska i przeciwdziałania zmianom klimatu w rolnictwie” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2022 r..



Nowym impulsem do opracowywania strategii w zakresie przeciwdziałania zmianom klimatu było zainicjowanie Europejskiego Zielonego Ładu (11). W grudniu 2020 r. osiągnięto porozumienie w sprawie prawa klimatycznego (element Zielonego Ładu) i zatwierdzono, że do 2030 r. emisje netto gazów cieplarnianych w UE zostaną ograniczone o co najmniej 55% w porównaniu z rokiem 1990. Realizacja tych zobowiązań pozwoli na osiągnięcie przez UE neutralności klimatycznej do 2050 r. Natomiast państwa członkowskie zobligowane są do opracowania własnej ścieżki dochodzenia do wyznaczonego celu. Jednocześnie UE uznała, że należy wprowadzić odpowiednie zachęty i wsparcie, aby transformacja klimatyczna była racjonalna kosztowo i uwzględniała różną sytuację poszczególnych krajów.

Polska jako strona Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu ma obowiązek raportowania wielkości emisji gazów cieplarnianych. W naszym kraju jednostką wykonującą inwentaryzację gazów cieplarnianych, obliczanie wartości emisji, dobór i rozwój metodyki zgodny z wytycznymi, wybór aktywności będących źródłem emisji oraz określanie współczynników jest Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE). W inwentaryzacji i szacowaniu emisji gazów cieplarnianych wykorzystywana jest metodyka opracowana przez IPCC, opisana w dokumencie Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (6) oraz zaktualizowana w 2019 r. (9). Zgodnie z zaproponowaną metodyką szacunki można wykonywać na różnym poziomie szczegółowości (poziom 1, 2 i 3), a za najbardziej szczegółową uważa się metodę 3 – zastosowanie modeli.

W ostatnich latach liczne badania wskazały na możliwości ograniczania emisji GHG, a tym samym łagodzenia zmian klimatu. Z jednej strony podejmowane są działania koncentrujące się na zrównoważonym gospodarowaniu gruntami rolnymi i leśnymi, z drugiej zaś ukierunkowane na redukcję emisji w gospodarstwach rolnych (modernizacja gospodarstw, redukcja emisji metanu z odchodów zwierzęcych) oraz na prowadzenie gospodarki rolnej w sposób przyjazny dla środowiska (wzrost liczby gospodarstw ekologicznych i powierzchni uprawianej tymi metodami, ochrona wód przed zanieczyszczeniem azotanami pochodzenia rolniczego). W produkcji roślinnej ograniczenie emisji gazów cieplarnianych można uzyskać, stosując na gruntach ornych poprawną gospodarkę nawozową, uprawę konserwującą (eliminującą częściowo lub całkowicie orkę) oraz przyorwanie nawozów organicznych lub ich substytutów: słomy, pozostałych resztek poźniwnych i nawozów zielonych, które prowadzą do zwiększenia udziału próchnicy i większej sekwestracji węgla w glebie. W efekcie ograniczenia mineralizacji substancji organicznej praktyki te przeciwdziałają emisji CO<sub>2</sub> z gleby i ograniczają emisję GHG (17, 18). Jednak wdrażanie tych praktyk nadal dla wielu gospodarstw rolnych stanowi duże wyzwanie.

Tradycyjną uprawą stosowaną w produkcji rolniczej w Polsce jest uprawa płużna, ale jest też ona energo- i pracochłonnym elementem agrotechniki. Ponadto, jak podkreśla Smagacz (18), płużny system uprawy roli prowadzi do wielu negatywnych

zmian w środowisku glebowym: przyspiesza proces mineralizacji próchnicy, pogarsza strukturę gleby i jej pojemność wodną, a w efekcie może prowadzić do degradacji gleby. Dlatego też, w coraz większym stopniu rekomenduje się stosowanie takich technik bezpłużnej uprawy roli (tzw. konserwującej), które wpływają korzystnie na środowisko glebowe. Do takich systemów należy uprawa uproszczona, która polega na ograniczeniu głębokości uprawy i zmniejszeniu intensywności zabiegów oraz pozostawianiu resztek poźniwnych na powierzchni gleby. Innym rodzajem uprawy konserwującej jest uprawa bezorkowa polegająca na wykonaniu siewu bezpośredniego specjalnym siewnikiem. Proponowane systemy uprawy ograniczają erozję wodną i wietrzną gleby, zwiększają zawartość próchnicy, a przede wszystkim ograniczają koszty prac polowych. Powodują także zmiany struktury kosztów produkcji (18).

Celem opracowania było oszacowanie emisji gazów cieplarnianych dla różnych systemów uprawy oraz określenie, na ile są one przyjazne dla klimatu.

### Material i metodyka badań

W badaniach wykorzystano model DNDC (Denitrification-Decomposition) (5). Model był używany do symulacji przemian węgla i azotu na poziomie europejskim (12). Skalibrowany i zweryfikowany do warunków Polski model stosowano również do symulacji bilansów węgla, azotu i wody, emisji  $\text{CH}_4$  i  $\text{N}_2\text{O}$ , sekwestracji węgla organicznego w glebach pod uprawami rolniczymi oraz do modelowania emisji podtlenku azotu i amoniaku w skali regionalnej (2, 3, 10).

Symulacje wykonano dla 136 kwadratów ( $50 \times 50$  km) obejmujących całą Polskę. Do przeprowadzenia symulacji niezbędne są codzienne dane meteorologiczne: temperatura minimalna i maksymalna oraz opad. Wymagane przez model DNDC informacje dotyczące właściwości fizykochemicznych gleb (zawartość iłu koloidalnego, ciężar objętościowy, odczyn, zawartości węgla) pochodziły z baz danych IUNG-PIB. W symulacjach wykorzystano także dane charakteryzujące agrotechnikę (zmianowanie roślin, terminy, rodzaje oraz głębokości wykonywanych zabiegów uprawowych, dawki i terminy stosowania nawozów mineralnych i naturalnych, ilości pozostawianych na polu resztek poźniwnych) (15). Symulacje prowadzono dla zmianowania roślin: rzepak ozimy – pszenica ozima – pszenica ozima – pszenżyto ozime i dla czterech wariantów uprawy:

- płużnej (pełnej) ze zbiorem całej ilości resztek poźniwnych (U1),
- płużnej i przyorywanie całej ilości resztek poźniwnych (U2),
- uproszczonej i pozostawianie całej ilości resztek poźniwnych na polu (U3),
- bezorkowej i pozostawianie całej ilości resztek poźniwnych na polu (U4).

Obliczone drogą symulacji sekwestracje (wartości ujemne) lub straty węgla (wartości dodatnie) przeliczono na  $\text{kg CO}_2$ . Emisje podtlenku azotu przeliczono na  $\text{kg N}_2\text{O}$ ,

zaś metanu na kg CH<sub>4</sub>. W obliczeniach zastosowano ogólnie przyjęte przeliczniki uwzględniające masy atomowe pierwiastków i masy cząsteczkowe związków:

- $\text{kg C} \times 3,664 = 3,664 \text{ kg CO}_2$ ,
- $\text{kg N-N}_2\text{O} \times 1,561 = 1,561 \text{ kg N}_2\text{O}$ ,
- $\text{kg C-CH}_4 \times 1,336 = 1,336 \text{ kg CH}_4$ .

Tak otrzymane emisje gazów cieplarnianych (w  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{r}^{-1}$ ) mnożono przez współczynniki globalnego ocieplenia, które wynoszą odpowiednio: CO<sub>2</sub> – 1; CH<sub>4</sub> – 25 i N<sub>2</sub>O – 298 (7). W ten sposób obliczono emisje gazów cieplarnianych wyrażone w kg ekw. CO<sub>2</sub>·ha<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup>, które po zsumowaniu dawały wartość GWP<sub>100</sub>. GWP netto obliczano, odejmując od GWP wariantów z poprawioną agrotechniką (U2–U4) wartość GWP dla uprawy płuźnej ze zbiorem słomy (U1).

Wyniki z symulacji (emisje bezpośrednie podtlenku azotu, emisje amoniaku, wymycia azotu, sekwestracje węgla, emisje metanu) zestawiono jako średnie lub mediany (gdy wartości parametrów nie miały rozkładu normalnego) dla poszczególnych województw i kraju.

## Wyniki badań

Rolnictwo jest nie tylko emitentem gazów cieplarnianych. Pewne ilości dwutlenku węgla absorbowane są w biomase roślinnej. Ponadto produkcja rolnicza przyczynia się do akumulacji węgla w postaci substancji organicznej. Skutecznym sposobem ograniczenia emisji gazów cieplarnianych jest zwiększenie sekwestracji węgla organicznego w glebie (16, 19). Dostarczanie większej ilości resztek poźniwnych zwiększa sekwestrację węgla i prowadzi do wzrostu zasobności gleb w materię organiczną. Ocena pochłaniania węgla dla różnych systemów uprawy i sposobów zagospodarowania resztek poźniwnych wykazała, że w systemie uprawy płuźnej ze zbiorem słomy sekwestracje zachodziły w 11 województwach, a ilości pochłanianego węgla wahały się w zakresie od –19 do –513 kg ekw. CO<sub>2</sub>·ha<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup>, przy medianie dla Polski wynoszącej –143 kg ekw. CO<sub>2</sub>·ha<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup> (tab. 1). W pozostałych regionach odnotowano straty węgla, które z wyjątkiem województwa lubuskiego były jednak niewielkie. Zastosowanie uprawy płuźnej z przyoraniem słomy prowadziło do sekwestracji węgla w glebie w ilościach od –1766 do –2385 kg ekw. CO<sub>2</sub>·ha<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup>. Mediana sekwestracji dla tego systemu uprawy wynosiła –1962 kg ekw. CO<sub>2</sub>·ha<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup>. Na podobnym poziomie kształtowała się sekwestracja węgla dla systemu uproszczonego z pozostawieniem słomy na polu (tab. 1). Poprawa agrotechniki polegająca na zastosowaniu siewu bezpośredniego z pozostawieniem całej ilości resztek poźniwnych na polu pozwala uzyskać największe sekwestracje węgla przy medianie dla Polski wynoszącej –9139 kg ekw. CO<sub>2</sub>·ha<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup>.

Tabela 1

Sekwestracje węgla w zależności od systemu uprawy  
i gospodarki resztkami poźniwnymi (kg ekw. CO<sub>2</sub> · ha<sup>-1</sup> · r<sup>-1</sup>)

Województwo	System uprawy			
	U1*	U2	U3	U4
Dolnośląskie	61	-1771	-1742	-8629
Kujawsko-pomorskie	-326	-2011	-2001	-8529
Lubelskie	-306	-2087	-2103	-9405
Lubuskie	267	-1647	-1499	-8168
Łódzkie	-331	-2134	-2136	-9019
Małopolskie	-101	-1933	-1944	-9517
Mazowieckie	-291	-1999	-1994	-8881
Opolskie	-189	-2024	-2006	-8846
Podkarpackie	2	-1766	-1862	-9746
Podlaskie	-513	-2385	-2455	-9630
Pomorskie	8	-1932	-1895	-9556
Śląskie	36	-1885	-1880	-9590
Świętokrzyskie	-303	-2020	-2017	-9216
Warmińsko-mazurskie	-113	-2014	-2051	-9880
Wielkopolskie	-162	-1880	-1884	-8586
Zachodniopomorskie	-19	-1901	-1910	-9019
Polska	-143	-1962	-1961	-9139

\*U1 – uprawa płużna ze zbiorem resztek poźniwnych, U2 – uprawa płużna z przyoraniem całej słomy, U3 – uprawa uproszczona z pozostawieniem całej słomy, U4 – uprawa bezorkowa (siew bezpośredni) z pozostawieniem całej słomy

Źródło: opracowanie własne

Wielkość emisji N<sub>2</sub>O zależy od dawki, wykorzystania i przemian azotu. Wniesienie do gleby lub pozostawienie na powierzchni pola znacznych ilości słomy powoduje uwalnianie wskutek mineralizacji dodatkowych ilości azotu. Niewykorzystany przez rośliny azot ulega przemianom generującym jego straty na drodze utleniania, wymywania i spływów powierzchniowych. Wpływa to na zmiany w emisjach podtlenku azotu. Najmniejsze emisje N<sub>2</sub>O stwierdzono w systemie uprawy płużnej ze zbiorem słomy z pola. Emisje te mieściły się w przedziale 71–442 kg ekw. CO<sub>2</sub> · ha<sup>-1</sup> · r<sup>-1</sup> (tab. 2). W systemie uprawy płużnej z przyoraniem słomy (U2) odnotowano wzrost emisji o 66,6% w stosunku do uprawy płużnej ze zbiorem resztek poźniwnych. Natomiast pozostawienie na polu całej ilości słomy w systemie uprawy uproszczonej (U3) i bezorkowej (U4) skutkowało wzrostem emisji N<sub>2</sub>O odpowiednio: 56,4 i 26,9%. Niezależnie od systemu uprawy największe emisje stwierdzono w województwie lubuskim, zaś nieco mniejsze w dolnośląskim, tj. w regionach charakteryzujących

się większymi zasobami węgla organicznego w glebach (tab. 2). Emisje podtlenku azotu rosły statystycznie istotnie według szeregu:  $U1 < U2 = U3 = U4$ . Badania własne wykazały, że przyorywanie lub pozostawianie całej ilości słomy na polu z jednej strony zwiększa sekwestrację węgla w glebie, z drugiej zaś wniesienie ze słomą dodatkowej ilości azotu zwiększa emisje podtlenku azotu (2). Potwierdzają to także badania przeprowadzone przez Lesschena i in. (14).

Tabela 2

Emisje podtlenku azotu w zależności od systemu uprawy i gospodarki resztkami poźniwnymi (kg ekw.  $\text{CO}_2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{r}^{-1}$ )

Województwo	System uprawy			
	U1*	U2	U3	U4
Dolnośląskie	193	347	331	263
Kujawsko-pomorskie	162	275	249	216
Lubelskie	88	169	153	146
Lubuskie	442	610	650	324
Łódzkie	157	234	220	194
Małopolskie	117	200	179	172
Mazowieckie	107	192	185	187
Opolskie	191	286	266	229
Podkarpackie	103	186	160	156
Podlaskie	71	126	121	120
Pomorskie	115	215	200	172
Śląskie	162	249	216	195
Świętokrzyskie	107	219	202	195
Warmińsko-mazurskie	94	171	155	146
Wielkopolskie	194	346	308	256
Zachodniopomorskie	192	342	306	201
Polska	156	260	244	198

\*warianty jak w tabeli 1

Źródło: opracowanie własne

Emisje podtlenku azotu są emisjami bezpośrednimi. Natomiast emisje pośrednie  $\text{N}_2\text{O}$  zależą od emisji amoniaku oraz strat azotu spowodowanych wymywaniem (spływy powierzchniowe różnych związków zawierających azot, wymywanie azotanów). Nie stwierdzono istotnych różnic emisji amoniaku w poszczególnych systemach uprawy (tab. 3). Oszacowane emisje  $\text{NH}_3$  były nieco mniejsze (U4) lub nieznacznie większe (U2) w porównaniu z uprawą płużną ze zbiorem resztek poźniwnych. Tak małe wahania w wielkości emisji nie będą miały istotnego wpływu na potencjał globalnego ocieplenia. Podobne wyniki w swoich badaniach uzyskali Leip i in. (13).

Tabela 3

Emisje amoniaku w zależności od systemu uprawy  
i gospodarki resztkami poźniwnymi (kg ekw. CO<sub>2</sub> · ha<sup>-1</sup> · r<sup>-1</sup>)

Województwo	System uprawy			
	U1*	U2	U3	U4
Dolnośląskie	10	10	10	9
Kujawsko-pomorskie	24	27	25	20
Lubelskie	12	14	13	12
Lubuskie	9	8	7	8
Łódzkie	9	10	9	8
Małopolskie	12	13	13	12
Mazowieckie	11	12	12	10
Opolskie	13	13	12	11
Podkarpackie	13	14	14	13
Podlaskie	9	10	10	9
Pomorskie	14	14	11	12
Śląskie	13	13	13	12
Świętokrzyskie	12	14	13	11
Warmińsko-mazurskie	13	14	13	12
Wielkopolskie	17	20	19	15
Zachodniopomorskie	18	20	19	15
Polska	13	14	13	12

\*warianty jak w tabeli 1

Źródło: opracowanie własne

Istotne znaczenie dla ograniczenia strat azotu ma poprawna gospodarka nawozowa. Niedostosowanie dawek mineralnych nawozów azotowych do potrzeb pokarmowych roślin prowadzi do strat azotu w postaci azotanów. W porównaniu z uprawą płużną ze zbiorem resztek poźniwnych (U1) najmniejsze wymycia azotanów wystąpiły w uprawie bezorkowej z pozostawieniem całej ilości resztek poźniwnych na polu (tab. 4). Większe wymycia azotu stwierdzono w uprawie płużnej z przyoraniem słomy i uproszczonej z pozostawieniem resztek poźniwnych na polu. Uzyskane wyniki wskazują, że oba systemy uprawy stwarzają większe ryzyko wymywania azotanów. Dlatego też na obszarach szczególnie narażonych na zanieczyszczenia wód azotanami powinny być stosowane z dużą ostrożnością.

Tabela 4

Emisje z wymycia azotu w zależności od systemu uprawy i gospodarki resztkami poźniwnymi (kg ekw. CO<sub>2</sub> · ha<sup>-1</sup> · r<sup>-1</sup>)

Województwo	System uprawy			
	U1*	U2	U3	U4
Dolnośląskie	38	54	57	46
Kujawsko-pomorskie	37	49	50	42
Lubelskie	37	53	47	44
Lubuskie	32	53	56	30
Łódzkie	37	49	53	42
Małopolskie	37	52	51	46
Mazowieckie	32	45	44	39
Opolskie	35	45	48	40
Podkarpackie	48	61	66	58
Podlaskie	38	54	54	46
Pomorskie	26	39	34	35
Śląskie	35	48	49	39
Świętokrzyskie	31	50	43	39
Warmińsko-mazurskie	33	45	45	40
Wielkopolskie	25	38	38	32
Zachodniopomorskie	29	43	42	32
Polska	34	49	49	41

\*warianty jak w tabeli 1

Źródło: opracowanie własne

Metan we wszystkich systemach uprawy był sekwestrowany (wartości ujemne) (tab. 5). Gleby dobrze natlenione absorbują metan i zmniejszają jego uwalnianie do atmosfery. Istotne są także stosunki powietrzno-wodne gleb. Wzrost opadów i duże nawodnienie gleby ogranicza występowanie bakterii metanotropowych pochłaniających metan i zmniejsza absorpcję metanu. Według Freibauer i Kaltschmitta (4) gleby mineralne użytkowane jako grunty orne pochłaniają metan w ilości 0,5–2,0 kg · ha<sup>-1</sup> · r<sup>-1</sup>.

Tabela 5

Emisja metanu w zależności od systemu uprawy i gospodarki resztkami poźniwnymi (kg ekw. CO<sub>2</sub> · ha<sup>-1</sup> · r<sup>-1</sup>)

Województwo	System uprawy			
	U1*	U2	U3	U4
Dolnośląskie	-22	-24	-24	-29
Kujawsko-pomorskie	-17	-19	-15	-25
Lubelskie	-13	-11	-15	-22
Lubuskie	-28	-28	-30	-35
Łódzkie	-18	-20	-13	-26
Małopolskie	-17	-18	-17	-24
Mazowieckie	-14	-17	-17	-22
Opolskie	-18	-20	-20	-26
Podkarpackie	-17	-19	-19	-24
Podlaskie	-13	-16	-16	-22
Pomorskie	-19	-9	-17	-25
Śląskie	-20	-22	-20	-27
Świętokrzyskie	-13	-21	-15	-22
Warmińsko-mazurskie	-16	-18	-19	-24
Wielkopolskie	-19	-21	-9	-27
Zachodniopomorskie	-22	-24	-23	-29
Polska	-18	-19	-18	-26

\*warianty jak w tabeli 1

Źródło: opracowanie własne

W systemie uprawy płużnej ze zbiorem resztek poźniwnych tylko w 6 województwach obliczone wielkości GWP miały wartość ujemną (tab. 6). W rejonach tych tradycyjna uprawa nie przyczyniała się więc do wzmoczenia zmian klimatu. W 10 regionach potencjał globalnego ocieplenia był dodatni. Niskie wartości sekwestracji węgla nie równoważyły emisji bezpośredniej N<sub>2</sub>O i emisji pośrednich (NH<sub>3</sub>, wymywania), a prowadzona tam produkcja roślinna nasilała zmiany klimatu. Natomiast produkcja roślinna prowadzona według pozostałych systemów uprawy (U2–U4) będzie miała mniejszy wpływ na zmiany klimatu, a surowce będą produkowane z większym ograniczeniem gazów cieplarnianych.



Tabela 6

GWP w zależności od systemu uprawy i gospodarki resztkami poźniwnymi (kg ekw. CO<sub>2</sub>·ha<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup>)

Województwo	System uprawy			
	U1*	U2	U3	U4
Dolnośląskie	280	-1384	-1368	-8340
Kujawsko-pomorskie	-120	-1679	-1692	-8276
Lubelskie	-182	-1862	-1905	-9225
Lubuskie	722	-1004	-816	-7841
Łódzkie	-146	-1861	-1867	-8801
Małopolskie	48	-1686	-1718	-9311
Mazowieckie	-155	-1767	-1770	-8667
Opolskie	32	-1700	-1700	-8592
Podkarpackie	149	-1524	-1641	-9543
Podlaskie	-408	-2211	-2286	-9477
Pomorskie	144	-1673	-1667	-9362
Śląskie	226	-1597	-1622	-9371
Świętokrzyskie	-166	-1755	-1774	-8993
Warmińsko-mazurskie	12	-1801	-1856	-9705
Wielkopolskie	55	-1497	-1528	-8310
Zachodniopomorskie	198	-1520	-1566	-8800
Polska	43	-1658	-1674	-8913

\*warianty jak w tabeli 1

Źródło: opracowanie własne

Wartości GWP netto dla uprawy płuźnej z przyoraniem słomy, uprawy uproszczonej z pozostawieniem całej słomy na polu oraz uprawy bezorkowej wynosiły odpowiednio: -1701, -1717 i -8956 kg ekw. CO<sub>2</sub>·ha<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup>. Należy jednak zwrócić uwagę na niewielką różnicę GWP netto dla systemu uprawy płuźnej z przyoraniem słomy i uprawy uproszczonej ze zbiorem resztek poźniwnych. Oznacza to, że nie zawsze uprawa uproszczona będzie dawała lepsze efekty niż płuźna. Z pewnością istotne znaczenie ma ilość pozostawianych na polu resztek poźniwnych.

### Podsumowanie

O wielkości globalnego potencjału ocieplenia (GWP<sub>100</sub>) w produkcji roślinnej decydują głównie procesy nityfikacji i denityfikacji oraz reprodukcji i degradacji glebowej materii organicznej, które są procesami biologicznymi. Ich przebieg, zależny od dostępności węgla i azotu, właściwości fizykochemicznych gleb, aktywności mikroorganizmów glebowych i klimatu, określa wielkość emisji CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> i w konsekwencji determinuje wielkość GWP.

Jednym ze sposobów ograniczenia emisji gazów cieplarnianych (GHG) może być stosowanie praktyk zwiększających sekwestrację węgla organicznego w glebach. Praktyki te polegają na wprowadzaniu tzw. uprawy konserwującej z jednoczesnym pozostawianiem na polu wszystkich resztek poźniwnych. Dodanie do gleby większych ilości substancji organicznej w postaci resztek poźniwnych zwiększa sekwestrację węgla, ale wpływa też na wzrost emisji podtlenku azotu. Produkcja roślinna prowadzona w rejonach, w których sekwestracja węgla kompensuje emisję podtlenku azotu nie przyczynia się do zmian klimatu.

## Literatura

1. European Commission, 2016: Proposal for an Effort Sharing Regulation 2021–2030. [https://ec.europa.eu/clima/policies/effort/regulation\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/effort/regulation_en).
2. Faber A., Jarosz Z.: Modelowanie emisji podtlenku azotu i amoniaku w skali regionalnej oraz w Polsce. Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Problemy Rolnictwa Światowego, 2018a, 18 (XXXIII), 2: 70-81.
3. Faber A., Jarosz Z.: Modelowanie bilansu węgla organicznego w glebie oraz emisji gazów cieplarnianych w skali regionalnej oraz w Polsce. Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Problemy Rolnictwa Światowego, 2018b, 18 (XXXIII), 3: 102-112.
4. Freibauer A., Kaltschmitt M. (eds.): Emission rates and emission factors of greenhouse gas fluxes from arable and animal agriculture. European Summary Report of the EU Concerted Action "Biogenic Emissions of Greenhouse Gases Caused by Arable and Animal Agriculture" (FAIR3-CT96-1877), Project Report Task 1. University of Stuttgart, Institute of Energy Economics and the Rational Use of Energy, April 2000.
5. Giltrap D.L., Li C., Sagar S.: DNDC: A process-based model of greenhouse gas fluxes from agricultural soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2010, 136: 292-300.
6. IPCC: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. A report prepared by the Task Force on National Greenhouse Gas Inventories (TFI) of the IPCC. 2006, Hayama, Japan: IGES.
7. IPCC: IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. 2. 10. 2 Direct Global Warming Potentials.
8. IPCC, 2018: Global Warming of 1,5 °C. <https://www.ipcc.ch/sr15/>.
9. IPCC, 2019: <https://www.ipcc.ch/2019/05/13/ipcc-2019-refinement/>.
10. Jarosz Z., Faber A.: Analiza przestrzennego zróżnicowania emisji podtlenku azotu z gruntów ornych w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, 52(6): 57-68.
11. Komisja Europejska: Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Europejski Zielony Ład. COM(2019) 640 final, 2019.
12. Leip A., Marchi G., Koehler K., Kempen M., Britz W., Li C.: Linking an economic model for European agriculture with a mechanistic model to estimate nitrogen and carbon losses from arable soils in Europe. *Biogeoscience*, 2008, 5: 73-94.
13. Leip A., Achermann B., Billen G., Bleeker A., Bouwman A. F., de Vries W., Dragosits U., Döring U., Fernald D., Geupel M., Heldstab J., Johnes P., Le Gall A.C., Monni S., Nevečeřal R., Orlandini L., Prud'homme M., Reuter H.I., Simpson D., Seufert G., Spranger T., Sutton M.A., van Aardenne J., Voß M., Winz W.: Chapter 16. Integrating nitrogen fluxes at the European scale. In: *The European Nitrogen Assessment*, Sutton et al. (ed.). Sources, Effects and Policy Perspectives. Cambridge University Press, 2011, pp. 345-376.

14. Lesschen J.P., Velthof G.L., de Vries W., Kros J.: Differentiation of nitrous oxide emission factors for agricultural soils. *Environmental Pollution*, 2011, 159: 3215-3222.
15. Li C.: Quantifying greenhouse gas emissions from soils: Scientific basis and modeling approach. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2007, 53: 344-352.
16. Lugato E., Leip A., Jones A.: Mitigation potential of soil carbon management overestimated by neglecting N<sub>2</sub>O emissions. *Nature Climate Change*, 2018, 8: 219-223.
17. Rutkowska B., Sulc W., Szara E., Skowrońska M., Jadczyżyn T.: Soil N<sub>2</sub>O emission under conventional and reduced tillage methods and maize cultivation. *Plant Soil Environmental*, 2017, 63(8): 342-347.
18. Smagacz J.: Konsekwencje organizacyjne i środowiskowe różnych systemów uprawy roli. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy 2016*, 47(1): 139-153.
19. Wiśniewski P., Kistowski M.: Agriculture and rural areas in the local planning of low carbon economy in light of the idea of sustainable development – results from a case study in north-central Poland. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2017, 26(8): 4927-4935.

---

Adres do korespondencji:

*dr Zuzanna Jarosz; prof. dr hab. Antoni Faber*  
*Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8*  
*24-100 Puławy*  
*tel.: 81 47 86 766; 81 47 86 767*  
*e-mail: zjarosz@iung.pulawy.pl; faber@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR	ORCID
Zuzanna Jarosz	0000-0002-3428-5804
Antoni Faber	0000-0002-3055-1968

Zuzanna Jarosz, Antoni Faber

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy  
w Puławach*

## WPŁYW WPR NA WIELKOŚĆ REDUKCJI EMISJI GAZÓW CIEPLARNIANYCH\*

**Słowa kluczowe:** gazy cieplarniane, redukcja emisji, wspólna polityka rolna

### Wstęp

Unia Europejska w coraz większym stopniu zwraca uwagę na szybko postępujące zmiany klimatu i degradację środowiska. Przejawem tych zmian są coraz częściej występujące ekstremalne zjawiska pogodowe (susze, powodzie, nawałnice), a skutki zmian klimatycznych są coraz bardziej odczuwalne. Szczególnie dotknięte są sektory takie jak: rolnictwo, leśnictwo, energetyka, turystyka, które są silnie uzależnione od warunków pogodowych. Realizując cele porozumienia paryskiego i podejmując ambitniejsze działania zmierzające do ograniczenia globalnego ocieplenia do 1,5°C, UE stała się liderem w międzynarodowych wysiłkach na rzecz walki ze zmianą klimatu (14).

W grudniu 2019 r. UE przedstawiła Europejski Zielony Ład (5). Jest to plan działania zmierzający do zbudowania zrównoważonej konkurencyjnej gospodarki i osiągnięcia w 2050 r. neutralności klimatycznej. Realizacja tego ambitnego celu obliguje państwa członkowskie do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do 2030 r. o co najmniej 55% w porównaniu z poziomem z 1990 r. Regulacje prawne dotyczące realizacji Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ) w marcu 2020 r. zapisano w „Europejskim prawie o klimacie” (12). Ma ono stanowić gwarancję, że wszystkie grupy społeczne i sektory gospodarki będą dążyły do celów wyznaczonych w EZŁ.

Wspólna polityka rolna (WPR) poprzez finansowanie od lat wspiera rozwój obszarów wiejskich. W czerwcu 2021 r. zawarto porozumienie w sprawie reformy wspólnej polityki rolnej. Realizacja nowej WPR rozpocznie się w 2023 r., a jej za-

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 8.0 pt. „Identyfikacja i opracowanie nowych krajowych wskaźników jednostkowych oraz zrównoważonych metod produkcji dla celów ochrony środowiska i przeciwdziałania zmianom klimatu w rolnictwie” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2022 r.

daniem jest wsparcie zrównoważonego i konkurencyjnego sektora rolnego. Będzie się ona opierać na dziewięciu kluczowych celach społecznych, środowiskowych i gospodarczych (13), tj.:

- wspieranie godziwych dochodów gospodarstw rolnych i ich stabilności w całej Unii w celu zwiększenia bezpieczeństwa żywnościowego;
- zwiększenie zorientowania na rynek i konkurencyjność, w tym większe ukierunkowanie na badania naukowe, technologię i cyfryzację;
- poprawa pozycji rolników w łańcuchu wartości;
- przyczynianie się do łagodzenia zmiany klimatu i przystosowywania się do niej, a także do zrównoważonej produkcji energii;
- wspieranie zrównoważonego rozwoju i wydajnego gospodarowania zasobami naturalnymi, takimi jak woda, gleba i powietrze;
- przyczynianie się do ochrony różnorodności biologicznej, wzmacnianie usług ekosystemowych oraz ochrona siedlisk i krajobrazu;
- przyciąganie młodych rolników i ułatwianie rozwoju działalności gospodarczej na obszarach wiejskich;
- promowanie zatrudnienia, wzrostu, włączenia społecznego rolników i rozwoju lokalnego na obszarach wiejskich, w tym biogospodarki i zrównoważonego leśnictwa;
- poprawa reakcji rolnictwa UE na potrzeby społeczne dotyczące żywności i zdrowia, w tym bezpiecznej, bogatej w składniki odżywcze i zrównoważonej żywności, jak też dobrostanu zwierząt.

Dodatkowo włączony jest cel przekrojowy obejmujący wspieranie wiedzy, innowacji i cyfryzacji w rolnictwie i na obszarach wiejskich. Każde państwo członkowskie ma za zadanie opracowanie własnego krajowego planu strategicznego WPR.

Tak więc rolnictwo będzie miało istotne znaczenie w realizacji celów Europejskiego Zielonego Ładu. Planowany budżet na finansowanie WPR wyniesie 387 miliardów euro. Wdrażaniem instrumentów współfinansowanych z budżetu UE oraz udzielaniem pomocy ze środków krajowych zajmuje się Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (ARiMR). W ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW) wspiera ona działania podejmowane przez rolników na obszarach wiejskich. Pierwszym po wstąpieniu Polski do UE siedmioletnim unijnym programem pomocowym dla rolnictwa był PROW 2007-2013, kolejnym – PROW 2014-2020. Program realizowany przez ARiMR składał się 15 działań i 35 poddziałań (10). O pomoc w ramach poszczególnych instrumentów wsparcia mogli ubiegać się zarówno rolnicy, producenci rolni, zakłady przetwórcze, grupy producentów rolnych, osoby fizyczne rozpoczynające lub prowadzące działalność gospodarczą, lokalne grupy działania, jak i samorządy gminne, powiatowe, publiczne podmioty doradcze i instytucje naukowe.

Celem opracowania było określenie, jak dotychczasowe wsparcie rolnictwa w ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich wpłynęło na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych. Szczególną uwagę zwrócono na działanie rolno-środowiskowo-klimatyczne sprzyjające ochronie środowiska i przeciwdziałające zmianom klimatu.

**PROW 2014-2020**

Podstawą do wsparcia obszarów wiejskich jest 6 priorytetów unijnej polityki rozwoju obszarów wiejskich, dla których określono tzw. docelowe obszary działania (2), tj.:

1. Ułatwianie transferu wiedzy i innowacji w rolnictwie i leśnictwie oraz na obszarach wiejskich:
  - wspieranie innowacyjności, współpracy i rozwoju bazy wiedzy na obszarach wiejskich;
  - wzmacnianie powiązań między rolnictwem, produkcją żywności i leśnictwem a badaniami i innowacją;
  - wspieranie uczenia się przez całe życie oraz szkolenia zawodowego w sektorach rolnictwa i leśnictwa.
2. Zwiększenie rentowności gospodarstw i konkurencyjności wszystkich rodzajów rolnictwa we wszystkich regionach oraz promowanie innowacyjnych technologii w gospodarstwach i zrównoważonego zarządzania lasami:
  - poprawa wyników gospodarczych wszystkich gospodarstw oraz ułatwianie restrukturyzacji oraz modernizacji gospodarstw;
  - ułatwianie wejścia rolników posiadających odpowiednie umiejętności do sektora rolnictwa, w szczególności wymiany pokoleń.
3. Wspieranie organizacji łańcucha żywnościowego, w tym przetwarzania i wprowadzania do obrotu produktów rolnych, dobrostanu zwierząt oraz zarządzania ryzykiem w rolnictwie:
  - poprawa konkurencyjności producentów rolnych poprzez lepsze ich zintegrowanie z łańcuchem rolno-spożywczym;
  - wspieranie zapobiegania ryzyku i zarządzania ryzykiem w gospodarstwach.
4. Odtwarzanie, ochrona i wzbogacanie ekosystemów związanych z rolnictwem i leśnictwem:
  - odtwarzanie, ochrona i wzbogacanie różnorodności biologicznej;
  - poprawa gospodarki wodnej;
  - zapobieganie erozji gleb i poprawa gospodarowania glebą.
5. Promowanie efektywnego gospodarowania zasobami i wspieranie przechodzenia w sektorach rolnym, spożywczym i leśnym na gospodarkę niskoemisyjną i odporną na zmianę klimatu:
  - poprawa efektywności korzystania z zasobów wodnych w rolnictwie;
  - zwiększanie efektywności wykorzystania energii w rolnictwie i przetwórstwie spożywczym;
  - ułatwianie dostaw i wykorzystywania odnawialnych źródeł energii;
  - redukcja emisji gazów cieplarnianych i amoniaku z rolnictwa;
  - promowanie ochrony pochłaniaczy dwutlenku węgla oraz pochłaniania dwutlenku węgla w rolnictwie oraz leśnictwie.

6. Promowanie włączenia społecznego, zmniejszania ubóstwa oraz rozwoju gospodarczego na obszarach wiejskich:
- ułatwianie różnicowania działalności, zakładania i rozwoju małych przedsiębiorstw, a także tworzenia miejsc pracy;
  - wspieranie lokalnego rozwoju na obszarach wiejskich;
  - zwiększanie dostępności technologii informacyjno-komunikacyjnych (TIK) na obszarach wiejskich oraz podnoszenie poziomu korzystania z nich i poprawianie ich jakości.

W ramach PROW 2014-2020 żadne działanie nie zostało przypisane do celu „redukcja emisji gazów cieplarnianych i amoniaku z rolnictwa” w priorytecie 5. Należy jednak zwrócić uwagę, że działania określone dla innych celów pośrednio przyczyniają się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, np. rolno-środowiskowo-klimatyczne (10). Również w poprzednich okresach programowania redukcja emisji gazów cieplarnianych pośrednio wynikała z działań powiązanych z ochroną środowiska i dobrą kulturą rolną.

Działanie rolno-środowiskowo-klimatyczne jest w znacznej części kontynuacją programu rolnośrodowiskowego realizowanego w PROW 2007-2013. Rolnictwo to nie tylko uzyskiwanie korzyści ekonomicznych, ale także konieczność dbania o zasoby naturalne. Wdrażanie działania ma rekompensować rolnikom ewentualne dodatkowe koszty lub poniesione straty wynikające z prowadzenia produkcji w sposób przyjazny dla środowiska, stosowanie praktyk przyczyniających się do ochrony gleb, wód, bioróżnorodności i klimatu. Działanie to zawiera 7 pakietów podzielonych na warianty (11). Na szczególną uwagę ze względu na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych i ochronę środowiska zasługują pakiety: rolnictwo zrównoważone, ochrona gleb i wód oraz cenne siedliska i zagrożone gatunki ptaków na obszarach i poza obszarami Natura 2000.

### **Rolnictwo zrównoważone**

Rolnictwo zrównoważone to promowanie racjonalnego gospodarowania i ograniczania negatywnego wpływu rolnictwa na środowisko. Podstawą jest dobór odpowiedniego zmianowania (minimum 4 upraw z zachowaniem odpowiedniego udziału). Jednocześnie w całym okresie finansowania (5 lat) na każdej działce rolnej należy w zmianowaniu zastosować 3 grupy upraw, przynajmniej raz wprowadzić dodatkową praktykę: międzyplony, przyoranie słomy lub przyoranie obornika. Szczegółowe wymogi, jakie beneficjent powinien spełnić, aby uzyskać dofinansowanie zostały zaprezentowane w „Przewodniku po działaniu rolno-środowiskowo-klimatycznym PROW2014-2020” (11).

Nieodzownym elementem racjonalnego gospodarowania jest zrównoważone nawożenie. Dostosowanie dawek nawozów (zwłaszcza mineralnych nawozów azotowych) do potrzeb pokarmowych roślin z uwzględnieniem wszystkich źródeł dopły-

wu azotu pozwala na efektywne ich wykorzystanie, a tym samym ograniczenie strat azotu w postaci  $N_2O$ , amoniaku czy azotanów (wymywanie, spływy powierzchniowe). Badania naukowe wskazują, że optymalizacja i poprawa efektywności nawożenia azotowego może ograniczyć emisję gazów cieplarnianych w zakresie 0,07–1,30 t  $CO_2 \cdot ha^{-1} \cdot r^{-1}$  (1, 8).

Zarówno dobór zmianowania, jak i dodatkowe działania (międzyplony, przyorywanie resztek poźniwnych, stosowanie obornika) przyczyniają się do wzrostu substancji organicznej w glebie, która jest określana mianem wskaźnika żyzności gleby. Korzystny wpływ na akumulację węgla w glebie ma uprawa roślin bobowatych i traw oraz ich mieszanek (6). Jednocześnie azot biologicznie wiązany w roślinach bobowatych jest dodatkowym źródłem składnika, co pozwala na zmniejszenie zużycia mineralnych nawozów azotowych pod roślinę następczą i ograniczenie emisji podtlenku azotu. Szacuje się, że zastosowanie poprawnego płodozmianu powoduje redukcję emisji o 0,4 t  $CO_2 \cdot ha^{-1} \cdot r^{-1}$  w porównaniu ze zmianowaniami uproszczonymi.

Sekwestrację węgla w glebie zwiększa także przyorywanie resztek poźniwnych. Praktyka jest zalecana głównie w gospodarstwach bezinwentarzowych, nieposiadających nawozów naturalnych. Sekwestracja węgla wynikająca z przyorania słomy może ograniczyć emisję dwutlenku węgla z gleby o 400–600 kg  $CO_2 \cdot ha^{-1} \cdot r^{-1}$  (15). Jednocześnie wniesienie do gleby dodatkowej ilości azotu z resztkami poźniwnymi zwiększa emisję podtlenku azotu, a jej wielkość zależy od systemu uprawy. Badania własne wykazały, że w systemie płuźnym przyoranie słomy powodowało wzrost średniej emisji  $N_2O$  o 104 kg  $CO_2 \cdot ha^{-1} \cdot r^{-1}$  (4). Tak więc przyorywanie słomy zwiększy emisję gazów cieplarnianych ze względu na dodatkowo wniesiony azot, jednakże w znacznie większym stopniu zredukuje emisje wskutek sekwestracji węgla organicznego. Natomiast nie stwierdzono istotnego wpływu stosowania tej praktyki na wielkość emisji amoniaku (emisja pośrednia  $N_2O$ ). Zdecydowanie większą redukcję emisji (0,05–2,20 t  $CO_2 \cdot ha^{-1} \cdot r^{-1}$ ) można uzyskać, pozostawiając słomę na polu z jednoczesnym stosowaniem systemów uprawy konserwującej (9, 16).

Praktyką sprzyjającą tworzeniu materii organicznej i poprawiającą strukturę gleb jest stosowanie międzyplonów. Grunty nieobsiane są narażone na erozję wodną i wietrzną. Natomiast uprawa i późniejsze przyoranie międzyplonów, szczególnie z dużą biomasą nadziemną, dostarcza znaczną ilość substancji organicznej. Pokrycie gleby roślinnością ogranicza emisję podtlenku azotu i wymywanie składników pokarmowych, zwłaszcza azotu w postaci azotanów oraz zwiększa sekwestrację węgla organicznego w glebach. Wdrażanie praktyki może wpłynąć na ograniczenie emisji w zakresie 0,88–1,47 t  $CO_2 \cdot ha^{-1} \cdot r^{-1}$  (3).

## Ochrona gleb i wód

Celem pakietu jest użytkowanie gruntów chroniące glebę przed erozją wodną i utratą substancji organicznej oraz ochrona wód przed zanieczyszczeniami. In-



tensywne opady czy spływy powierzchniowe na terenach nachylonych powodują wypłukiwanie cząstek gleby, co prowadzi do zubożenia w składniki pokarmowe i pogorszenia właściwości gleb (mniejsza infiltracja wody i napowietrzenie gleby). Z drugiej zaś strony wymywanie biogenów powoduje zanieczyszczenie wód powierzchniowych i gruntowych. Do degradacji gleby prowadzi także zbyt intensywna uprawa, zwiększona mechanizacja, usuwanie zadrzewień śródpolnych czy pozostawianie pól bez okrywy roślinnej. Ochrona gleb przed erozją wodną nabiera szczególnego znaczenia w obliczu coraz częściej występujących zjawisk ekstremalnych (susze, nawałnice) spowodowanych zmianami klimatu. W ramach pakietu promuje się dwie praktyki: uprawa międzyplonów i zakładanie pasów traw (ochronnych) w poprzek stoków o nachyleniu powyżej 20%. Zaleca się wysiew międzyplonu składającego się z minimum 3 gatunków upraw i z udziałem roślin miododajnych, co wpłynie także na zwiększenie różnorodności biologicznej. Efekt tych działań wyceniany jest na  $0,88-1,47 \text{ t CO}_2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{r}^{-1}$  (7).

### **Cenne siedliska i zagrożone gatunki ptaków na obszarach i poza obszarami Natura 2000**

Wdrażanie pakietów poprzez stosowanie tradycyjnych i ekstensywnych sposobów użytkowania trwałych użytków zielonych (odpowiednie terminy koszenia, częstość pokosów, terminy i intensywność wypasu, brak lub ograniczone stosowanie nawożenia i środków ochrony roślin) przyczynia się do zachowania cennych siedlisk przyrodniczych i siedlisk zagrożonych gatunków ptaków, walorów krajobrazowych i bioróżnorodności. Trwałe użytki zielone odgrywają istotną rolę w pochłanianiu i magazynowaniu dwutlenku węgla zarówno w niskiej wieloletniej roślinności, jak i w glebie. Często cenne siedliska przyrodnicze obejmują tereny podmokłe, bagienne czy torfowe. Te naturalne, niepoddane ingerencji człowieka tereny magazynują znaczne ilości węgla zasymilowanego przez rośliny, a warunki beztlenowe spowodowane stałym wysyceniem gleby wodą przyczyniają się do powolnego obumierania tkanek roślinnych i nagromadzenia glebowej materii organicznej. Stanowią naturalny rezerwuuar biogenów, przez co chronią sąsiadujące cieki i zbiorniki wodne przed eutrofizacją. Ochrona takich terenów nie tylko przyczynia się do ograniczania emisji gazów cieplarnianych, ale także może pomóc w przystosowaniu się do zmian klimatu.

### **Wpływ wdrażania WPR na wielkość redukcji emisji gazów cieplarnianych**

Wykorzystując dane pozyskane z ARiMR dotyczące powierzchni gruntów objętych działaniem od 2007 r. do końca 2019 r., oszacowano wielkość redukcji emisji gazów cieplarnianych uzyskaną w wyniku wdrożenia działania rolno-środowiskowo-klimatycznego (tab. 1). W ramach pakietu rolnictwo zrównoważone wsparciem objęto łącznie 893,6 tys. ha. Redukcja emisji GHG zależała od zastosowanej praktyki.

W przypadku poprawnego zmianowania roślin wyniosła 0,357 mln t ekw. CO<sub>2</sub>·r<sup>-1</sup>. Natomiast wdrażanie takich działań, jak: przyorywanie resztek poźniwnych, uprawa co najmniej jednego międzyplonu, optymalizacja nawożenia azotowego i poprawa efektywności nawożenia, pozwoliło na ograniczenie emisji dla każdej praktyki o 0,447 mln t ekw. CO<sub>2</sub>·r<sup>-1</sup>. Łącznie z tytułu wsparcia rolnictwa zrównoważonego redukcja emisji wyniosła około 1,7 mln t ekw. CO<sub>2</sub>·r<sup>-1</sup>, co stanowi 3,5% w stosunku do 1990 r. (tab. 1).

Tabela 1

Wpływ wdrożenia działania rolno-środowiskowo-klimatycznego  
na wielkość redukcji emisji GHG z rolnictwa

Działanie	Wielkość redukcji emisji (mln t ekw. CO <sub>2</sub> ·r <sup>-1</sup> )	% ograniczenia emisji w stosunku do 1990 r.
<b>Działanie rolno-środowiskowo-klimatyczne – ogółem, w tym:</b>	<b>3,138</b>	<b>6,47</b>
Pakiet 1. Rolnictwo zrównoważone	1,698	3,50
Pakiet 2. Ochrona gleb i wód	0,396	0,82
Pakiet 4. Cenne siedliska i zagrożone gatunki ptaków na obszarach Natura 2000	0,543	1,12
Pakiet 5. Cenne siedliska poza obszarami Natura 2000	0,501	1,03

Źródło: opracowanie własne

Jak wspomniano, pakiet ochrona gleb i wód to promowanie praktyk agrotechnicznych przeciwdziałających erozji glebowej wodnej, utracie substancji organicznej oraz zanieczyszczeniu wód składnikami wypłukiwanymi z gleb. Wsparciem PROW objęto przede wszystkim wariant 1 – międzyplony, obejmujący 328,6 tys. ha. Oznacza to, że wdrożenie praktyki wpłynęło na redukcję emisji o 0,394 mln t ekw. CO<sub>2</sub> oraz o 0,002 mln t ekw. CO<sub>2</sub> z powodu zmniejszenia wymywania (emisja pośrednia N<sub>2</sub>O). Łączny efekt redukcji emisji oszacowano na 0,396 mln t ekw. CO<sub>2</sub>, co stanowi 0,82% emisji z sektora rolnego w 1990 r. (tab. 1).

Działania dotyczące ochrony zagrożonych gatunków ptaków i siedlisk przyrodniczych poza obszarami Natura 2000 oraz na tych obszarach dotyczą łącznie ponad 696 tys. ha. Redukcja emisji gazów cieplarnianych wynika przede wszystkim ze zmniejszenia intensyfikacji produkcji, głównie na użytkach zielonych. Ochrona obszarów Natura 2000 i cennych siedlisk poza tymi obszarami przyczynia się do redukcji emisji odpowiednio: 0,543 i 0,501 mln t ekw. CO<sub>2</sub>.

Przeprowadzone obliczenia wskazują na możliwość uzyskania około 6,5% redukcji emisji GHG w krajowym rolnictwie, wyłącznie na drodze realizowanego działania rolno-środowiskowo-klimatycznego.

## Podsumowanie

Zmiany klimatu i przeciwdziałanie ich powstawaniu są jednym z priorytetów WPR. Osiągnięcie wyznaczonych celów w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych wymaga wdrażania wielu praktyk rolniczych, których realizacja w dużej mierze jest uzależniona od uruchomienia instrumentów finansowych (PROW). Wsparcie w ramach PROW takich pakietów, jak: rolnictwo zrównoważone, ochrona gleb i wód oraz cenne siedliska i zagrożone gatunki ptaków na obszarach Natura 2000 i poza tymi obszarami pozwoliło na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w rolnictwie o 6,5% w porównaniu z rokiem 1990. Należy przy tym zwrócić uwagę, że rekomendowane praktyki przyczyniające się do redukcji GHG nie są obligatoryjne i tylko odpowiednie wsparcie finansowe może skłonić beneficjentów do ich wdrażania.

## Literatura

1. Eory V., MacLeod M., Topp C.F.E., Rees R.M., Webb J., McVittie A., Wall E., Borthwick F., Watson C., Waterhouse A., Wiltshire J., Bell H., Moran D., Dewhurst R.: Review and update the UK Agriculture Marginal Abatement Cost Curve to assess the greenhouse gas abatement potential for the 5th carbon budget period and to 2050. Final Report, 2015. <https://www.theccc.org.uk>
2. European Network for Rural Development, 2017. [https://enrd.ec.europa.eu/policy-in-action/rural-development-policy-figures/priority-focus-area-summaries\\_pl](https://enrd.ec.europa.eu/policy-in-action/rural-development-policy-figures/priority-focus-area-summaries_pl)
3. Faber A., Jarosz Z.: Potencjał redukcji emisji gazów cieplarnianych w polskim rolnictwie w świetle literatury. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2017, 52(6): 45-56.
4. Jarosz Z., Faber A.: Welkość emisji gazów cieplarnianych w zależności od systemu uprawy. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2022, 67(21): 55-66.
5. Komisja Europejska: Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Europejski Zielony Ład. COM(2019) 640 final, 2019.
6. Lenart S., Perzanowska A.: Wpływ płużnej uprawy roli i siewu bezpośredniego na zawartość w glebie materii organicznej ekstrahowanej metodami fizycznymi. Acta Agrophysica, 2013, 20(4): 595-607.
7. Martineau H., Wiltshire J., Webb J., Hart K., Keenleyside C., Baldock D., Bell H., Watters J.: Effective performance of tools for climate action policy – meta-review of Common Agricultural Policy (CAP) mainstreaming. Report for European Commission – DG Climate Action. Institute for European Environmental Policy, 2016. Ricardo-AEA/R/ED60006/Mitigation Potential Issue Number V1.1.
8. Perez Dominiquez I., Fellmann T., Weiss F., Witzke P., Barreiro-Hurle J., Himics M., Jansson T., Salputra G., Leip A.: An economic assessment of GHG mitigation policy options for EU agriculture (EcAMPA 2). JRC Science for Policy Report, 2016, EUR 27973 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC93434/LFNA27097ENE.epub>
9. Posthumus H., Deeks L.K., Rickson R.J., Quinton J.N.: Costs and benefits of erosion control measures in the UK. Soil Use and Management, 2015, 31: 16-33.
10. PROW 2014-2020: <https://www.gov.pl/web/arimr/program-rozwoju-obszarow-wiejskich-lata-2014---2020>.

11. Przewodnik po działaniu rolno-środowiskowo-klimatycznym PROW 2014-2020. MRiRW, Warszawa 2022.
12. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady 2020/0036 (COD) ustanawiające ramy na potrzeby osiągnięcia neutralności klimatycznej i zmieniające rozporządzenie (UE) 2018/1999 (Europejskie prawo o klimacie). Bruksela. 04.3.2020, COM(2020) 80 final.
13. Serwis Rzeczypospolitej Polskiej, 2021. <https://www.gov.pl/web/wprpo2020/cele-wpr1>.
14. UNFCCC: Adoption of the Paris agreement. Paris Climate Change Conference – November 2015. <https://unfccc.int/documents/9064>.
15. W a l c z a k J. (red.): Potencjał redukcji emisji gazów cieplarnianych w polskim rolnictwie z uwzględnieniem efektów Wspólnej Polityki Rolnej. Ekspertyza dla MRiRW, 2015 (materiały niepublikowane).
16. W e s t T., M a r l a n d G.: A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2020, 91: 217-232.

---

Adres do korespondencji:

*dr Zuzanna Jarosz; prof. dr hab. Antoni Faber*  
*Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8*  
*24-100 Puławy*  
*tel.: 81 4786 766; 81 4786 767*  
*e-mail: zjarosz@iung.pulawy.pl; faber@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR	ORCID
Zuzanna Jarosz	0000-0002-3428-5804
Antoni Faber	0000-0002-3055-1968



**Stanisław Krasowicz, Andrzej Madej**

*Institut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy  
w Puławach*

## INNOWACYJNOŚĆ I KONKURENCYJNOŚĆ ROLNICTWA A ŚRODOWISKO\*

**Słowa kluczowe:** innowacje, konkurencyjność, rolnictwo, środowisko, nauka, doradztwo, wsparcie

---

### Wstęp

Innowacyjność i konkurencyjność to pojęcia odnoszące się do różnych dziedzin działalności człowieka, w tym także do rolnictwa jako elementu systemu żywnościowego. Często są one oceniane z punktu widzenia wpływu na środowisko przyrodnicze i zrównoważony rozwój systemu żywnościowego.

System żywnościowy obejmuje surowce, procesy technologiczne i elementy infrastruktury związane z rolnictwem, przetwórstwem, handlem, transportem, sprzedażą detaliczną i konsumpcją żywności. Jego celem jest zapewnienie zdrowej żywności dla ludzi i stworzenie możliwości zrównoważonego rozwoju uwzględniającego cele produkcyjne, ekonomiczne, ekologiczne i społeczne (13).

Przejsie do zrównoważonego systemu żywnościowego Unia Europejska wskazała jako jeden z priorytetów Europejskiego Zielonego Ładu (18). Zrównoważony rozwój systemu żywnościowego wymaga:

- wieloaspektowej analizy stanu aktualnego;
- analizy dynamiki i kierunków oraz skutków zmian; badań monitoringowych środowiska przyrodniczego;
- wsparcia ze strony nauki i doradztwa;

---

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 8.0 pt. „Identyfikacja i opracowanie nowych krajowych wskaźników jednostkowych oraz zrównoważonych metod produkcji dla celów ochrony środowiska i przeciwdziałania zmianom klimatu w rolnictwie” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2022 r.

- kształtowania właściwych relacji i sprzężeń między badaniami naukowymi a wdrożeniami;
- współpracy różnych środowisk naukowych z doradztwem;
- istnienia sprawnego systemu transferu wyników badań i analiz do praktyki.

### **Cele, materiał i metoda badań**

Opracowanie jest próbą ogólnego spojrzenia na przydatność wyników badań naukowych jako wsparcia innowacyjności rolnictwa i kształtowania jego wpływu na środowisko.

Cele opracowania to:

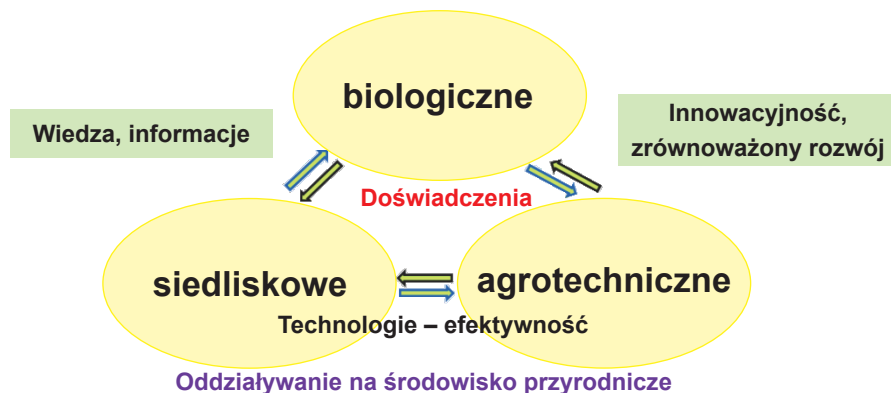
- 1) przedstawienie aspektów środowiskowych jako przesłanek działalności innowacyjnej, poprawiającej konkurencyjność rolnictwa;
- 2) wskazanie na przykładzie IUNG-PIB w Puławach kierunków współpracy nauki i doradztwa w zakresie wdrażania innowacji (ekoinnowacji) w gospodarstwach rolnych.

Podstawowymi źródłami informacji były sprawozdania z działalności badawczej, wdrożeniowej i upowszechnieniowej (16) oraz publikacje zarówno opracowane w IUNG-PIB, jak i w innych ośrodkach naukowych. Do opracowania zgromadzonych materiałów wykorzystano metodę analizy zależności i związków przyczynowo-skutkowych.

### **Wyniki badań IUNG-PIB jako wsparcie zrównoważonego rozwoju systemu żywnościowego**

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy jest instytutem badawczym nadzorowanym przez MRiRW. Ponad 70 lat działalności IUNG to wdrażanie postępu technologicznego i innowacji (8). Innowacje to podstawa zwiększania konkurencyjności rolnictwa jako elementu systemu żywnościowego. Nawiązując do tradycji i współczesnych wyzwań, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB w Puławach prowadzi badania środowiskowe, technologiczne oraz organizacyjno-ekonomiczne. Ich wyniki wspierają racjonalne gospodarowanie zasobami naturalnymi w rolnictwie jako jednym z obszarów strategicznych biogospodarki i zrównoważonego systemu żywnościowego. Czynniki wpływające na produkcję roślinną powiązane szeregiem zależności i sprzężeń zwrotnych przedstawiono na rysunku 1.

## Uwarunkowania organizacyjno-ekonomiczne



Rys. 1. Czynniki wpływające na produkcję roślinną

Źródło: opracowanie własne

Wyznacznikami możliwości rozwoju produkcji roślinnej są nowe wyzwania podejmowane przez IUNG-PIB (8). W działalności naukowej Instytutu, wspierającej doradztwo i praktykę, nowe wyzwania „środowiskowe” to:

1. Działania w zakresie adaptacji rolnictwa do zmian klimatu;
2. Ocena wpływu rolnictwa na środowisko przyrodnicze i zapobieganie jego degradacji, racjonalne wykorzystanie gleb oraz zbilansowana gospodarka glebową materią organiczną;
3. Ocena skutków produkcyjnych, ekonomicznych, środowiskowych i społecznych WPR i Europejskiego Zielonego Ładu;
4. Promocja i ocena różnych systemów gospodarowania w rolnictwie oraz konserwujących systemów uprawy roli;
5. Ocena możliwości produkcji biomasy na cele energetyczne oraz wykorzystanie w tym celu różnych ziemiopłodów;
6. Wspieranie rolnictwa niskoemisyjnego;
7. Wspieranie biogospodarki oraz kształtowania konkurencyjności i innowacyjności polskiego rolnictwa w regionach;
8. Ograniczanie zagrożeń dla ludzi, zwierząt i środowiska poprzez eliminację lub zmniejszanie zużycia środków chemicznych;
9. Wykorzystanie biotechnologii i wyników badań agrotechnicznych w pracach nad kształtowaniem jakości surowców roślinnych;
10. Wykorzystanie technik informatycznych w zarządzaniu i transferze wyników badań do praktyki;
11. Rozwój alternatywnych kierunków działalności na obszarach wiejskich.



Wiele z tych wyzwań jest zbieżnych z Koncepcją Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ). Wpisują się też one w strategię „od pola do stołu” dedykowaną sektorowi rolno-spożywczemu (15). Wyzwania te są przesłankami innowacji w rolnictwie.

Innowacja w rolnictwie to działalność, która wiąże się z wprowadzeniem zmian i upowszechnianiem nowości w celu zwiększenia wydajności, poprawy jakości, zmniejszenia zagrożeń dla środowiska i obniżenia kosztów produkcji oraz osiągnięcia wyższych dochodów z produkcji rolniczej (6). Innowacyjność jest przesłanką zwiększania konkurencyjności rolnictwa w gospodarstwach (przedsiębiorstwach) i regionach. IUNG-PIB w Puławach poprzez swoją działalność wspiera procesy zwiększania konkurencyjności i innowacyjności polskiego rolnictwa z uwzględnieniem zróżnicowania regionalnego, wykorzystując m.in. potencjał Rolniczych Zakładów Doświadczalnych (RZD). Znaczna część innowacji wdrażanych przez IUNG-PIB to ekoinnowacje.

Ekoinnowacje to innowacje w dowolnej postaci, których wynikiem lub celem jest znaczący i widoczny postęp w kierunku osiągnięcia zrównoważonego rozwoju przez zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko, zwiększenie odporności na obciążenia środowiskowe lub osiągnięcie efektywniejszego i bardziej odpowiedzialnego korzystania z zasobów naturalnych (14). Innowacje mają na celu poprawę konkurencyjności rolnictwa (3, 11).

Konkurencyjność w rolnictwie to dążenie do obniżania (racjonalizacji) kosztów produkcji, ale i zagrożeń dla środowiska.

Podstawowe sposoby obniżania (racjonalizacji) kosztów produkcji to:

- rejonizacja produkcji – ograniczanie ryzyka, lepsze wykorzystanie potencjału; ograniczenie strat, zmniejszenie kosztów np. dosuszania ziarna kukurydzy;
- postęp organizacyjny, techniczny, technologiczny i biologiczny, innowacyjne technologie;
- wzrost skali produkcji – zmniejszenie kosztów stałych.

Realizacja wyżej wymienionych wyzwań wymaga wykorzystania wyników badań naukowych oraz partnerskiej, harmonijnej współpracy nauki i doradztwa z praktyką. Taka współpraca powinna stanowić wsparcie dla produkcji rolniczej rozumianej jako:

- ważny element systemu żywnościowego i miara jego innowacyjności;
- wykorzystanie zasobów naturalnych oraz pracy i kapitału;
- oddziaływanie na środowisko przyrodnicze;
- płaszczyzna badań interdyscyplinarnych;
- czynnik decydujący o kierunkach i perspektywach rozwoju różnych regionów Polski.

Według IUNG-PIB priorytetami polskiego rolnictwa, będącego elementem systemu żywnościowego, są:

- zrównoważony rozwój, zmniejszenie zagrożeń dla środowiska, racjonalne wykorzystanie zasobów;
- poprawa konkurencyjności;

- wzrost innowacyjności, poprawa jakości produkcji;
- wdrażanie postępu technologicznego;
- poprawa efektywności transferu wyników badań naukowych do praktyki rolniczej;
- regionalizacja polityki wsparcia i działalności doradczej.

Rolnictwo traktowane jako jeden z głównych dysponentów środowiska naturalnego i element systemu żywnościowego powinno rozwijać się w sposób zrównoważony (3, 12, 13).

Rolnictwo zrównoważone to opisywany przez szereg wskaźników i cech stan, do którego powinien zmierzać ten dział gospodarki, dostarczający żywności do bezpośredniego spożycia i surowców dla przemysłu spożywczego (17). Rolnictwo zrównoważone zdefiniowane w ten sposób realizuje jednocześnie i harmonijnie cele produkcyjne, ekonomiczne i ekologiczne, a tym samym oznacza stan (cechy), do którego powinno zmierzać rolnictwo. Bez równowagi społecznej i ekonomicznej nie jest możliwe osiągnięcie w długim czasie równowagi ekologicznej (5, 17).

Rolnictwo zrównoważone charakteryzuje się określoną specyfiką, a zatem wymaga dostosowania do niej wsparcia ze strony nauki i doradztwa.

Wspieranie decyzji dotyczących zrównoważonego rozwoju rolnictwa musi być dostosowane do warunków przyrodniczych i organizacyjno-ekonomicznych.

Podstawowe przesłanki zrównoważonego rozwoju systemu żywnościowego, którego elementem składowym jest rolnictwo to:

- krytyczna ocena dotychczasowych koncepcji rozwoju;
- rosnąca świadomość ograniczoności ekosystemu globalnego Ziemi;
- świadomość wpływu jakości żywności na zdrowie i jakość życia społeczeństw;
- zmiany w WPR UE;
- Europejski Zielony Ład;
- strategia „od pola do stołu”;
- gospodarka obiegu zamkniętego;
- konieczność ograniczania strat.

Na przesłanki te należy spojrzeć w sposób obiektywny, uwzględniając istniejące uwarunkowania środowiskowe i organizacyjno-ekonomiczne polskiego rolnictwa oraz proponowane systemy gospodarowania (produkcji rolnej).

Próba obiektywizacji oceny Europejskiego Zielonego Ładu poprzez systemy produkcji rolnej, stanowiące komponenty EZŁ (systemy rolnictwa ekologicznego, integrowanego, precyzyjnego), dokonana w świetle ocen nauki wydaje się wskazywać, że większe możliwości skutecznej ochrony bioróżnorodności i klimatu stwarza system integrowany, skutecznie i harmonijnie realizujący cele produkcyjne, ekologiczne, ekonomiczne i społeczne. Natomiast realizacja w Polsce założeń EZŁ, dotyczących ochrony klimatu i bioróżnorodności, głównie przez zwiększenie udziału produkcji ekologicznej do 25% powierzchni UR, może spowodować spadek produkcji rolnej o około 11%. Z kolei wdrażanie zasad gospodarowania sprzyjających ochronie

klimatu i bioróżnorodności jest łatwiejsze w gospodarstwach towarowych o większej skali produkcji. Warunkiem ich rozwoju jest usuwanie barier utrudniających poprawę struktury gospodarstw z punktu widzenia skali produkcji (18).

Koncepcja „od pola do stołu” traktowana jest jako poważne wyzwanie dla nauki, doradztwa i praktyki (15). Jest ona elementem Europejskiego Zielonego Ładu, a w swych zasadniczych założeniach:

- uwzględnia w sposób kompleksowy wyzwania związane ze zrównoważonymi systemami żywnościowymi;
- podkreśla znaczenie związków pomiędzy technologiami produkcji i przetwórstwa a zdrowiem ludzi i zwierząt, warunkami rozwoju społeczeństw oraz bezpieczeństwem planety;
- zakłada ambitne cele, takie jak: redukcja zużycia środków ochrony roślin, antybiotyków i nawozów, zazielenienie, zwiększenie udziału rolnictwa ekologicznego;
- wymaga wdrażania postępu technicznego i technologicznego oraz organizacyjnego, inwestycji, kształtowania postaw proekologicznych i wzrostu świadomości ekologicznej;
- wymaga obiektywnych, wieloaspektowych, (kompleksowych) ocen przewidywanych efektów pozytywnych i możliwych zagrożeń, w tym także negatywnych skutków produkcyjnych i ekonomicznych (dochodowych) dla różnych grup gospodarstw;
- wymaga szerokiego transferu wiedzy i zmian w kierunkach badań oraz systemach edukacji.

Ważnym problemem polskiego sektora żywnościowego jest wspieranie gospodarki cyrkularnej. Gospodarka o obiegu zamkniętym, zwana też gospodarką cyrkularną, to koncepcja zmierzająca do racjonalnego wykorzystania zasobów oraz ograniczenia negatywnego oddziaływania na środowisko wytwarzanych produktów. To jednocześnie model gospodarki, w którym minimalizuje się zużycie surowców i wielkość odpadów oraz emisję i straty energii poprzez tworzenie zamkniętej pętli procesów. Model ten jest przeciwieństwem gospodarki liniowej bazującej na ciągłym wzroście i powiększaniu się zużycia surowców oraz wolumenu odpadów (4).

Ważnym wyzwaniem staje się też ograniczenie strat żywności, które są problemem o znaczeniu światowym, ale jednocześnie zróżnicowanym według kontynentów i krajów.

Najwyższymi wskaźnikami strat żywności na mieszkańca charakteryzują się Europa i Ameryka Północna – wynoszą one około 300 kg·rok<sup>-1</sup>. Dla porównania w południowo-wschodniej Azji jest to około 120 kg·rok<sup>-1</sup>. Straty żywności w krajach uprzemysłowionych są na podobnym poziomie jak w krajach rozwijających się, w których ponad 40% strat żywności występuje na etapie zbiorów i przetwórstwa, podczas gdy w krajach uprzemysłowionych ponad 40% strat żywności to straty na

poziomie detalicznym i konsumpcji (FAO 2011). Odpady żywnościowe konsumentów w krajach uprzemysłowionych (222 mln ton) były prawie tak duże jak całkowita produkcja żywności netto w Afryce Subsaharyjskiej – 230 mln ton (4).

Ograniczanie strat i marnowania żywności, przede wszystkim przez zapobieganie im, ma ogromny potencjał w zakresie zapewnienia trwałego bezpieczeństwa żywnościowego i żywieniowego, zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych i zmniejszenia negatywnego oddziaływania na środowisko przyrodnicze poprzez poprawę efektywności wykorzystania zasobów naturalnych. Z tego powodu idealnie wpisuje się w realizację strategii Europejskiego Zielonego Ładu i dedykowanej sektorowi rolno-spożywczemu strategii „od pola do stołu” (15).

Na strategię tę warto spojrzeć z punktu widzenia cech zrównoważonego systemu żywnościowego. Główne cechy zrównoważonego systemu żywnościowego w IUNG-PIB ocenia się na poziomie kraju, regionu i gospodarstwa. Obejmują one rejonizację (lokalizację produkcji), systemy doradztwa, postęp technologiczny oraz organizację i wzajemne relacje produkcji roślinnej i zwierzęcej, w aspekcie ich wpływu na środowisko; są zróżnicowane w zależności od poziomu analizy i możliwości generalizacji opinii. Cechy zrównoważonego systemu żywnościowego na poziomie kraju (regionu) obejmują:

- racjonalne wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej i utrzymanie potencjału produkcyjnego gleb;
- zapewnienie samowystarczalności żywnościowej kraju (netto);
- produkcję bezpiecznej żywności;
- produkcję surowców o pożądanym, oczekiwanych przez konsumentów i przemysł, parametrach jakościowych;
- ograniczenie lub eliminację zagrożeń dla środowiska przyrodniczego oraz troskę o zachowanie bioróżnorodności;
- uzyskiwanie dochodów pozwalających na porównywalną z innymi działaniami gospodarki opłatę pracy i zapewnienie środków finansowych na modernizację i rozwój.

Natomiast na poziomie gospodarstwa cechy rolnictwa jako wyznaczniki zrównoważonego systemu żywnościowego to przede wszystkim:

- zapewnienie trwałej żywności gleby;
- dostosowanie gałęzi i kierunków produkcji oraz odmian roślin i ras zwierząt do warunków przyrodniczych i ekonomiczno-organizacyjnych;
- zrównoważony bilans substancji organicznej;
- zrównoważony bilans składników pokarmowych (nawozowych);
- wysoki indeks pokrycia gleby roślinnością;
- integrowana ochrona roślin;
- przestrzeganie zasad prawidłowej agrotechniki i zootechniki;
- zachowanie bioróżnorodności;
- dostosowana do potencjału absorpcyjnego ekosystemu obsada zwierząt.

Najważniejsze innowacje, uwzględniające wskazane cechy rolnictwa na poziomie kraju (regionu) i gospodarstwa, oferowane doradztwu i praktyce rolniczej przez IUNG-PIB jako wsparcie zrównoważonego systemu żywnościowego to:

- nowe techniki i systemy agrotechniki (uprawy), konserwujące systemy uprawy roli;
- nowe, przyjazne dla środowiska i efektywne ekonomicznie technologie i techniki;
- systemy organizacji produkcji roślinnej oraz różne systemy gospodarowania i organizacji produkcji zwierzęcej;
- nowe odmiany chmielu i tytoniu, nowe rozwiązania technologiczno-organizacyjne;
- systemy doradztwa (nawozowego i technologicznego);
- stosowanie nowych nawozów i substancji użyźniających;
- redukcja dawek środków ochrony roślin (zwłaszcza herbicydów);
- produkcja i stosowanie szczepionek bakteryjnych;
- wykorzystanie substancji specyficznych roślin w rolnictwie i przemyśle.

Jednym z zasadniczych celów wdrażania innowacji w gospodarstwach jest ograniczanie emisji. Systemy gospodarowania i innowacje odnoszą się do gospodarstw (przedsiębiorstw) rolnych. W krajach rozwiniętych 25% emisji gazów cieplarnianych generowanych jest przez rolnictwo, ale z drugiej strony rolnictwo jednocześnie pochłania gazy cieplarniane i wiele innych zanieczyszczeń (13).

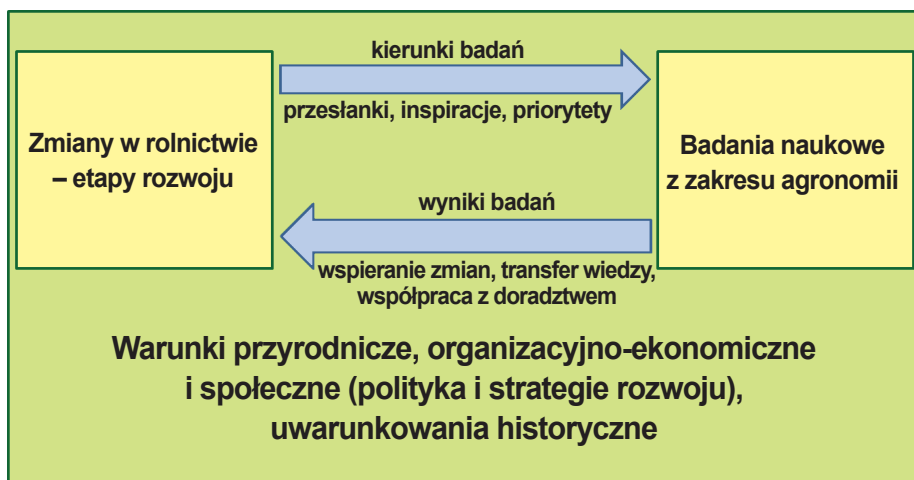
Podstawą rozwoju współczesnej i przyszłej gospodarki światowej jest biogospodarka (1, 2). Pojęcie to jest obecnie często używane. Oznacza rozwój gospodarczy bazujący na zasobach odnawialnych i wiedzy. Obejmuje wszystkie sektory i związane z nimi usługi, które produkują, przetwarzają lub wykorzystują zasoby biologiczne występujące w każdej z możliwych form. Biogospodarka wskazuje ponadto płaszczyznę współpracy i integracji różnych środowisk naukowych, doradztwa, praktyki rolniczej, biznesu oraz administracji.

Za strategiczne obszary w ramach biogospodarki uznaje się:

1. Zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego i promowanie zdrowia.
2. Zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych (zrównoważony rozwój).
3. Innowacyjny rozwój procesów i produktów.

Wśród nauk wspierających biogospodarkę ważną rolę spełniają nauki rolnicze reprezentowane m.in. przez instytuty resortowe MRiRW, w tym IUNG-PIB w Puławach (6, 10).

Jednym z wyznaczników kierunków badań rolniczych są zmiany w rolnictwie. Wyniki tych badań stają się czynnikami wspierającymi zmiany w rolnictwie. Istniejące sprzężenia zwrotne pomiędzy zmianami w rolnictwie a kierunkami badań schematycznie przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Sprzężenia zwrotne pomiędzy zmianami w rolnictwie a kierunkami badań

Źródło: opracowanie własne

Zmiany w rolnictwie i etapy jego rozwoju były przesłankami wyznaczania i zmian priorytetów w badaniach rolniczych. Priorytety działalności badawczej IUNG-u w latach 1950–2022 zmieniały się (8). Ich zakres był szeroki i obejmował następujące grupy problemów:

- maksymalizacja wydajności, poprawa agrotechniki;
- optymalizacja wykorzystania czynników produkcji;
- ochrona i racjonalne wykorzystanie gleb;
- kształtowanie jakości surowców roślinnych;
- optymalizacja nawożenia, gospodarka nawozowa;
- zrównoważony rozwój;
- efektywność ekonomiczna;
- wspieranie innowacyjności i konkurencyjności rolnictwa;
- adaptacja rolnictwa do zmian klimatu;
- ograniczanie emisji i niekorzystnego wpływu rolnictwa na środowisko;
- ochrona bioróżnorodności;
- wspieranie biogospodarki; bioekonomia;
- regionalizacja, informatyzacja, modelowanie.

Wdrażanie koncepcji biogospodarki, stanowiące jeden z priorytetów badawczych, to obecnie ważne wyzwanie dla Polski i wyznacznik rozwoju zrównoważonego systemu żywnościowego (3). Według IUNG-PIB racjonalnemu wykorzystaniu zasobów naturalnych w produkcji rolniczej sprzyjają, wymagające partnerskiej współpracy nauki, doradztwa i praktyki, następujące działania:

1. Dostosowanie gałęzi i kierunków produkcji rolniczej do warunków przyrodniczych i organizacyjno-ekonomicznych – rejonizacja produkcji.

2. Uwzględnianie specyfiki i siły ekonomicznej różnych grup gospodarstw przy wyborze systemów gospodarowania i poziomu intensywności technologii.
3. Zrównoważona gospodarka nawozowa; systemy doradztwa.
4. Integrowana ochrona roślin.
5. Prawidłowa gospodarka glebową materią organiczną.
6. Wdrażanie technik i technologii produkcji efektywnych ekonomicznie i przyjaznych dla środowiska, chroniących gleby, wody i powietrze.
7. Propozycje alternatywnych kierunków działalności na obszarach o niekorzystnych warunkach gospodarowania (ONW), obszarach problemowych rolnictwa (OPR) oraz na obszarach cennych przyrodniczo (HNV).
8. Kształtowanie świadomości ekologicznej społeczeństwa.
9. Wspieranie różnych form ochrony zasobów naturalnych.
10. Ocena skutków środowiskowych WPR.
11. Kształtowanie jakości surowców roślinnych.
12. Ograniczenie wszelkich strat od „pola do stołu”.

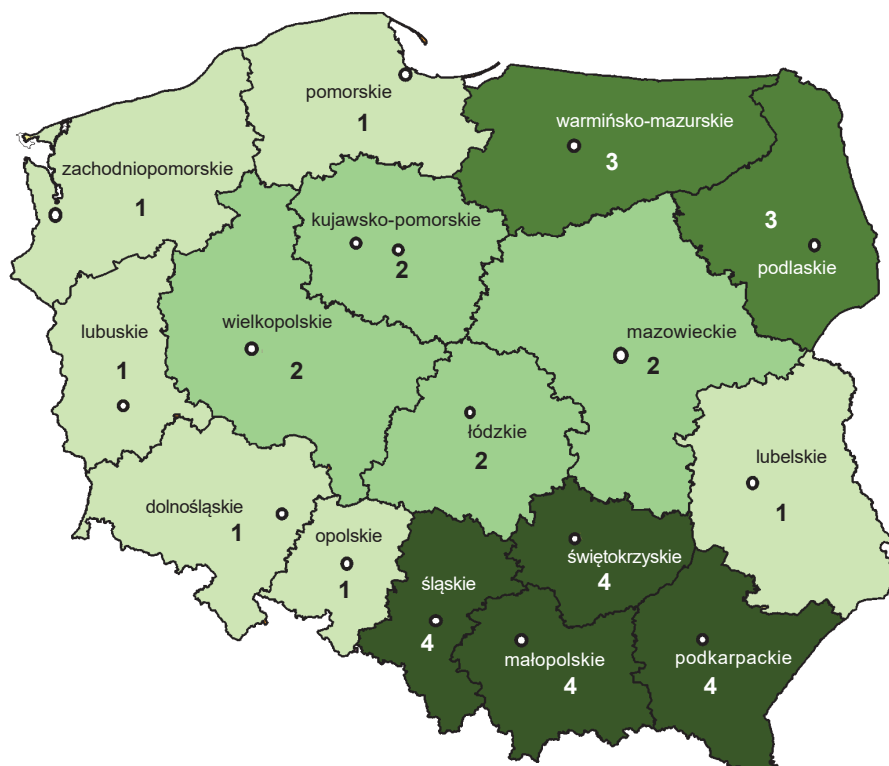
Możliwości współpracy nauki i doradztwa z praktyką należy rozpatrywać przez pryzmat uwarunkowań (12, 13). Do ważniejszych czynników decydujących o celowości współpracy różnych środowisk w zakresie zrównoważonego rozwoju systemu żywnościowego można zaliczyć:

1. Zakres merytoryczny pojęcia „rozwój zrównoważony systemu żywnościowego” – różnorodność celów (grup celów).
2. Konieczność wieloaspektowej oceny stanu aktualnego rolnictwa jako elementu systemu żywnościowego.
3. Dążenie do kwantyfikacji stopnia zrównoważenia z uwzględnieniem różnych celów i poziomów oceny – doskonalenie metodyki oceny.
4. Zależność możliwości zrównoważonego rozwoju systemu żywnościowego od:
  - uwarunkowań (przyrodniczych, organizacyjno-ekonomicznych, społecznych);
  - poziomu rozwoju gospodarczego kraju (regionu) i intensywności oraz specyfiki rolnictwa;
  - systemów gospodarowania i kierunków produkcji;
  - polityki państwa oraz WPR i związanych z nią strategii.
5. Konieczność szerokiej popularyzacji idei zrównoważonego rozwoju systemu żywnościowego i wdrażania działań prowadzących do stanu zrównoważenia.
6. Konieczność oceny skutków realizowanej polityki rolnej przez pryzmat celów zrównoważonego rozwoju.
7. Konieczność uwzględniania relacji człowiek–środowisko przyrodnicze i wpływu poszczególnych rozwiązań na środowisko i efekty ekonomiczne.
8. Celowość podejścia strategicznego do problemów rozwoju rolnictwa „od pola do stołu”.
9. Celowość ukierunkowania i regionalizacji działalności doradczej.
10. Dążenie do ocen kompleksowych, wieloaspektowych.

Według Krasowicza i Matyki (7) wyznacznikiem kierunków innowacji i ich wspierania jest specjalizacja produkcji.

Jak wynika z przeprowadzonych w IUNG-PIB badań (6, 10), możliwości wdrażania innowacji są zróżnicowane regionalnie. Innowacje wyznaczają etapy rozwoju rolnictwa, zmieniają się w czasie. Ich cechą jest dynamika zmian. Ważnym wyznacznikiem możliwości i zakresu wdrażania innowacji w regionach jest struktura obszarowa gospodarstw. Większe zainteresowanie innowacjami w zakresie technologii i organizacji produkcji jest cechą charakterystyczną gospodarstw towarowych, o większym obszarze i większej skali produkcji. Większa koncentracja gospodarstw zainteresowanych innowacjami występuje w zachodniej i północnej Polsce. Celowa jest zatem dywersyfikacja działalności doradczej.

Podział województw na skupienia o zróżnicowanej produkcji towarowej rolnictwa jako przesłance innowacji przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 3. Podział województw na skupienia o zróżnicowanej towarowości rolnictwa jako przesłance innowacji

Źródło: Krasowicz i Matyka, 2021 (7)



Uproszczoną charakterystykę wyodrębnionych grup województw z punktu widzenia kierunków innowacji przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

## Specjalizacja rolnictwa jako wyznacznik kierunków innowacji

Nr skupienia	Województwa (grupy województw)	Cechy charakterystyczne
1 (6)	dołnośląskie, lubelskie, lubuskie, opolskie, pomorskie, zachodniopomorskie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zróżnicowanie wwrpp, specjalizacja w towarowej produkcji zbóż i roślin przemysłowych, owoców i warzyw (lubelskie)</li> <li>• relatywnie niska obsada zwierząt</li> <li>• relatywnie mniejszy udział produkcji zwierzęcej w towarowej produkcji rolniczej</li> </ul>
2 (4)	kujawsko-pomorskie, łódzkie, mazowieckie, wielkopolskie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• intensywne rolnictwo, specjalizacja w różnych gałęziach produkcji rolniczej</li> <li>• relatywnie wyższy udział województw w rolniczej produkcji towarowej niż w powierzchni UR</li> </ul>
3 (2)	podlaskie, warmińsko-mazurskie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• rozwinięta towarowa produkcja zwierzęca (mleko) i żywiec wołowy</li> <li>• wysoki udział TUZ w strukturze UR</li> <li>• wysoki udział roślin pastewnych na GO (zwłaszcza kukurydzy)</li> </ul>
4 (4)	małopolskie, podkarpackie, śląskie, świętokrzyskie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• duże rozdrobnienie gospodarstw</li> <li>• niska wartość skupu w <math>z\cdot ha^{-1}</math></li> <li>• niskie zużycie nawozów mineralnych w <math>kg\ NPK\cdot ha^{-1}</math> UR</li> <li>• znaczący udział owoców i warzyw w strukturze produkcji towarowej</li> </ul>

Źródło: Krasowicz i Matyka, 2021 (7)

Za ważne czynniki wdrażania innowacji w gospodarstwach rolnych uznać można:

- specyfikę (filozofię) rolnictwa;
- relacje (sprzężenia) rolnictwo–środowisko;
- poziom kultury rolnej w regionach (subregionach);
- warunki organizacyjno-ekonomiczne (specjalizacja, towarowość, powiązania z rynkiem);
- poziom wiedzy fachowej rolnika oraz jego zainteresowanie postępem technologicznym.

Przewidywane korzyści ze współpracy nauki, doradztwa i praktyki w zakresie zrównoważonego rozwoju systemu żywnościowego to:

1. Poszerzenie i obiektywizacja oraz kompleksowość ocen.
2. Większa możliwość dostrzegania związków i zależności oraz sprzężeń zwrotnych.
3. Możliwość tworzenia technologii, modeli i wzorców opartych na wielu kryteriach, uwzględniających wyniki najnowszych badań krajowych i zagranicznych.

4. Większa skuteczność oddziaływania nauki na doradztwo i praktykę rolniczą oraz nauki i doradztwa, jako systemu wspierania decyzji, na społeczeństwo.

Za podstawowe bariery transferu wiedzy i wdrażania innowacji uznać należy: dużą liczbę i rozproszenie odbiorców wyników badań naukowych (rolników i doradców), zróżnicowanie chłonności różnych grup gospodarstw na postęp, zakresy merytoryczne działalności instytutów badawczych, uczelni oraz firm komercyjnych, zmieniająca się często sytuacja ekonomiczna polskiego rolnictwa i agrobiznesu, złożoność i wieloaspektowość problemów rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich, zróżnicowanie poziomu wiedzy rolników.

Wkład rolnictwa w ochronę klimatu i budowanie odporności na jego zmiany powinien się koncentrować na ochronie istniejących i budowie nowych zasobów węgla organicznego w glebie i biomasy pochodzenia rolniczego oraz rozwoju odnawialnych źródeł energii (4).

Na konieczność kształtowania właściwych relacji rolnictwa i środowiska wskazywał Manteuffel (9), pisząc: „Żywą naturę trzeba obserwować i odkrywać takie sposoby współdziałania z nią, które jej odpowiadają, które ona akceptuje”.

Według Harasima (5) „wąska specjalizacja produkcji może wywoływać skutki negatywne takie jak: wzrost ryzyka produkcyjnego i rynkowego, nierównomierne wykorzystanie ziemi, ograniczenie bioróżnorodności, naruszenie równowagi ekonomicznej, zagrożenia dla środowiska rolniczego”.

Istniejąca specjalizacja produkcji rolniczej według regionów wskazuje działania innowacyjne, którymi jest (może być) zainteresowana większa liczba gospodarstw, a raczej przedsiębiorstw rolnych w poszczególnych województwach. Jednak w działalności doradczej nie można pomijać potrzeb innych gospodarstw oraz ich zainteresowania nowymi rozwiązaniami w sferze technologii, organizacji produkcji rolniczej i ochrony środowiska (11, 17).

## Podsumowanie

Analiza głównych kierunków i form działalności IUNG-PIB w Puławach wskazuje, że prowadzone badania naukowe stanowią istotne wsparcie dla rozwoju zrównoważonego rolnictwa jako ważnego elementu systemu żywnościowego. Kształtują też one relacje rolnictwo–środowisko.

W badaniach IUNG-PIB znajdują odzwierciedlenie obszary strategiczne biogospodarki i priorytety rozwojowe polskiego systemu żywnościowego.

Wyniki badań rolniczych IUNG-PIB umożliwiają wieloaspektową ocenę stanu aktualnego i określenie perspektywicznych kierunków rozwoju systemu żywnościowego dostosowanych do regionalnych uwarunkowań (6).

Innowacje oferowane przez IUNG-PIB doradztwu i praktyce rolniczej odzwierciedlają główne kierunki badań w zakresie produkcji roślinnej i kształtowania środowiska rolniczego (8).

Proponowane innowacje są nakierowane na poprawę efektywności produkcji, kształtowanie poziomu i jakości plonów, zmniejszenie zagrożeń dla środowiska przyrodniczego oraz racjonalne wykorzystanie potencjału gospodarstw rolnych.

Możliwości wdrażania innowacji i poprawy konkurencyjności rolnictwa należy oceniać, uwzględniając specyfikę gospodarstw i ich grup.

Relatywnie większe zainteresowanie wdrażaniem innowacji jest cechą charakterystyczną gospodarstw towarowych, specjalizujących się w określonych kierunkach produkcji (roślinnej i zwierzęcej). W przypadku produkcji roślinnej grupę zainteresowaną wdrażaniem innowacji stanowią gospodarstwa o powierzchni pow. 50 ha UR. Większy udział UR we władaniu tej grupy gospodarstw jest cechą charakterystyczną rolnictwa zachodniej i północnej Polski.

Wspieranie rozwoju biogospodarki stwarza możliwość praktycznego wykorzystania wyników rolniczych badań naukowych i kreowania nowych tematów badawczych.

Warunkiem podstawowym efektywnego wykorzystania wyników badań naukowych we wspieraniu systemu żywnościowego jest usprawnienie transferu wiedzy do doradztwa i praktyki (12).

Wspieranie rozwoju systemu żywnościowego, wyznaczone przez koncepcję biogospodarki, powinno być płaszczyzną współpracy i integracji różnych środowisk, m.in. pracowników nauki, rolników, ekonomistów, menadżerów, ekologów oraz przedstawicieli oświaty i doradztwa, przemysłu rolno-spożywczego i handlu.

Rozwiązania technologiczne kierowane przez placówki naukowe do doradztwa i praktyki w ramach wspierania biogospodarki mogą w sposób istotny przyczynić się do poprawy jakości produkcji, ograniczenia strat na wszystkich etapach łańcucha „od pola do stołu”, zmniejszenia zagrożeń dla środowiska przyrodniczego oraz zdrowia ludzi i zwierząt, a jednocześnie zwiększenia innowacyjności i konkurencyjności polskiej gospodarki (15).

## Literatura

1. Chyłek K.E., Kopiński J. i inni: Uwarunkowania i kierunki rozwoju biogospodarki w Polsce. ITP, Falenty 2017, ss. 190.
2. Chyłek K.E., Rzepecka M.: Biogospodarka – konkurencyjność i zrównoważone wykorzystanie zasobów. Polish Journal of Agronomy, IUNG-PIB, Puławy 2011, 7: 3-13.
3. Gołębiowska B., Chlebicka A., Maciejczak M.: Rolnictwo a środowisko. Bioróżnorodność i innowacje środowiskowe w rozwoju rolnictwa. SGGW, Warszawa 2016, ss. 123.
4. Gołębiowski J.: Systemy żywnościowe w warunkach gospodarki cyrkularnej. Studium porównawcze krajów Unii Europejskiej. SGGW, Warszawa 2019, ss. 271.
5. Harasim A.: Ocena potencjału agrośrodowiskowego rolnictwa w aspekcie koncentracji i konkurencyjności produkcji rolniczej. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy 2020, 62(16): 113-127.
6. Krasowicz S.: Wiedza jako jeden z czynników determinujących rozwój produkcji rolniczej w Polsce. Studia i raporty IUNG-PIB, z. 47(1), Puławy 2016: 35-53.
7. Krasowicz S., Matyka M.: Produkcja towarowa jako kryterium wykorzystania potencjału rolnictwa w różnych regionach Polski. Zag. Ek. Rol., IERiGŻ-PIB, Warszawa 2021, 2(387): 48-72.

8. K r a s o w i c z S. i inni: 70 lat działalności Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach. IUNG-PIB, Puławy 2020, ss. 138.
9. M a n t e u f f e l R.: Filozofia rolnictwa. PWN, Warszawa 1987.
10. M a t y k a M.: Przegląd wskaźników potencjalnie przydatnych do oceny wpływu WPR na rolnictwo. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy 2016, **47(1)**: 25-34.
11. N o w a k A.: Konkurencyjność rolnictwa Polski wschodniej. Rozprawy Naukowe UP, Lublin 2017, **389**: 1-200.
12. S a s R.: Doradztwo rolnicze – doświadczenia transformacji i nowe wyzwanie. Roczniki Naukowe SERiA, Warszawa-Bydgoszcz 2017, t. XIX, **2**: 211-219.
13. S t a n i s z e w s k i J., C z y ż e w s k i A.: Rolnictwo Unii Europejskiej w procesie zrównoważonej intensyfikacji. PWN S.A., Warszawa 2019, ss. 297.
14. W o ź n i a k L., W o ź n i a k G.: Ekoinnowacje jako czynnik zrównoważonego rolnictwa i przetwórstwa żywności. Zag. Ek. Rol., IERiGŻ-PIB, Warszawa 2021, **1(366)**: 74-90.
15. Zbiorowa: Ekonomiczne implikacje Europejskiego Zielonego Ładu – wybrane aspekty. Studia, Monografie, IERiGŻ-PIB, Warszawa 2021, **188**: 1-128.
16. Zbiorowa: Sprawozdanie z działalności badawczo-rozwojowej w roku 2020. IUNG-PIB, Puławy 2021.
17. Z e g a r J.S.: Zarys długookresowej strategii rozwoju rolnictwa w Polsce. IERiGŻ-PIB, Warszawa 2021, ss. 202.
18. Z i ę t a r a W., M i r k o w s k a Z.: Zielony Ład – w kierunku rolnictwa ekologicznego czy ekologizacji rolnictwa. Zag. Ek. Rol., IERiGŻ-PIB, Warszawa 2021, **3(368)**: 29-54.

---

Adres do korespondencji:

*prof.dr hab. Stanisław Krasowicz*  
*Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej,*  
*dr inż. Andrzej Madej*  
*Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej,*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8,*  
*24-100 Puławy*  
*tel.: 81 4786 802; 81 4786 809*  
*e-mail: sk@iung.pulawy.pl; Andrzej.Madej@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR	ORCID
Stanisław Krasowicz	0000-0003-3949-1444
Andrzej Madej	0000-0002-3369-1077



**Magdalena Borzęcka, Małgorzata Wydra**

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy*

PLATFORMA AGENERGY NA RZECZ ZRÓWNOWAŻONEGO ROLNICTWA\*

**Słowa kluczowe:** wykorzystanie energii w rolnictwie, technologie i strategii wolne od paliw kopalnych, energia odnawialna, efektywność energetyczna, sekwestracja węgla

## Wstęp

Pokrycie potrzeb energetycznych i zwiększanie produktywności w rolnictwie opiera się na zasobach kopalnych (9). Uzależnienie rolnictwa od energii wiąże się z postępowaniem w mechanizacji i chemizacji, jaki przyniosła Zielona Rewolucja (lata 50. i 60. XX w.). Dostarczyła ona szeregu rozwiązań umożliwiających usprawnienie większości praktyk agrotechnicznych wykorzystujących jako źródło energii – podobnie jak we wszystkich sektorach produkcyjnych – głównie paliwa kopalne. Pozytywny wpływ zmian na produktywność i wydajność rolnictwa, jak również zmniejszenie nakładów pracy i obciążenia pracowników były znaczące. Niestety, postęp ten wiązał się również ze zwiększonym wpływem działalności rolniczej na potencjał globalnego ocieplenia (GWP), poprzez zwiększenie emisji gazów cieplarnianych (GHG) emitowanych bezpośrednio z działalności rolniczej, pochodzących z fermentacji jelitowej zwierząt gospodarskich, pracy maszyn rolniczych oraz poprzez intensyfikację użytkowania gruntów i stosowanie zwiększonych nakładów na środki produkcji (14). Dlatego też obecnie w pracach badawczo-rozwojowych i we wdrożeniach kładzie się duży nacisk na nowatorskie technologie i strategii związane z bardziej zrównoważoną produkcją energii, efektywnym jej wykorzystaniem i redukcją emisji gazów cieplarnianych (37). Na przestrzeni ostatnich 20 lat w UE popularne stało się wykorzystanie technologii i strategii redukujących emisje GHG w większości sektorów gospodarki, z bardzo pozytywnymi wynikami. Co prawda rolnictwo, według danych z EUROSTAT, odpo-

\*Publikacja powstała na rzecz promocji platformy AgEnergy, produktu opracowanego przez konsorcjum projektu AgrofosillFree, finansowanego w ramach programu ramowego UE w zakresie badań naukowych i innowacji Horyzont 2020, numer umowy grantowej: 101000496.

wiada zaledwie za 3,3% całkowitego zużycia energii w UE (dane z 2019 r.), jednak aż 55% całkowitego zużycia energii w rolnictwie UE opiera się na ropie naftowej i paliwach ropopochodnych, 17% stanowi energia elektryczna, 14% gaz ziemny, a 9% biopaliwa (40). Pomimo to, rolnictwo nie zostało zidentyfikowane jako dziedzina gospodarcza, gdzie energooszczędne lub zeroemisyjne technologie i praktyki powinny znaleźć zastosowanie. Uważa się, że rolnictwo nie jest istotnym konsumentem energii i w małym stopniu przyczynia się do emisji gazów cieplarnianych. Pokutuje również przekonanie, że koszt instalacji nowoczesnych technologii jest zbyt wysoki dla małych i średnich gospodarstw rolnych.

Obecnie w gospodarce coraz powszechniejsze staje się stosowanie niskoemisyjnych technologii i strategii, a ich udział w całkowitej produkcji energii zwiększył się z 6,1% w 2000 r. do 15,2% w 2016 r., przy jednoczesnym spadku udziału energetyki kopalnej i jądrowej (15). Wzrost rynku pozwolił na optymalizację tego typu rozwiązań pod kątem lepszej wydajności i jakości w połączeniu z obniżonymi cenami, które osiągnęły poziom akceptowalny dla większości konsumentów energii. Niestety, w sektorze rolnym nadal istnieje znaczna luka między dostępnymi nowatorskimi rozwiązaniami a faktycznym przyjęciem i wykorzystaniem przez rolników zalecanych narzędzi i praktyk, zwłaszcza w przypadku tak dużej liczby małych i średnich producentów, dla których często barierą jest również ograniczony dostęp do informacji i wiedzy (28). Zmniejszenie tej luki to postęp w kierunku rolnictwa zrównoważonego zapewniającego bezpieczeństwo środowiskowe i rozwój społeczno-gospodarczy. W celu zintegrowania wszystkich dostępnych narzędzi i praktyk, które rozwinęły się dzięki dotychczasowym badaniom rozwojowo-wdrożeniowym i wysiłkom przemysłu nadal potrzebny jest kluczowy element umożliwiający osiągnięcie ogólnego sukcesu, czyli odpowiednie przeszkolenie osób zaangażowanych w ten proces restrukturyzacji. Jego wynikiem ma być pełne dostosowanie się rolnictwa do polityki ograniczania zużycia energii z paliw kopalnych.

Dyrektywa w sprawie efektywności energetycznej (2012/27/UE) (12) postawiła za cel zmniejszenie zużycia energii w UE o 20% do 2020 r. w stosunku do prognoz na ten rok. Nowelizacja tej dyrektywy przeprowadzona w grudniu 2018 r. (UE 2018/2002) (13) podwyższyła wskaźnik celu do 32,5%, który zamierza się osiągnąć w 2030 r. W ramach Europejskiego Zielonego Ładu, Komisja zaproponowała zestaw środków zakładających dalsze zwiększanie efektywności energetycznej i ograniczanie zużycia paliw kopalnych, dążąc do przekształcenia Europy w pierwszy kontynent neutralny dla klimatu do 2050 r. Aby osiągnięcie powyższych celów było możliwe, konieczne jest podjęcie odpowiednich działań także w sektorze rolnictwa.

Dotychczasowa polityka energetyczna UE zdołała zmniejszyć ogólne zużycie energii w sektorze rolnictwa na przestrzeni 20 lat (1999–2019) o 8,1%. Co istotne, zużycie paliw kopalnych spadło z 63,1% do 53%, a udział energii elektrycznej, biopaliw i energii odnawialnej wzrósł z 4% do 9% (41). Bezpośrednia energia zużywana w rolnictwie jest przeznaczana głównie do zasilania maszyn rolniczych, ogrzewania

budynków inwentarskich i szklarni. Rolnictwo wykorzystuje również energię pośrednio poprzez użycie w produkcji przemysłowej wysokoenergetycznych nawozów i środków ochrony roślin oraz maszyn i konstrukcji rolniczych. Możliwości ograniczenia zużycia energii w rolnictwie są zatem szerokie.

Rolnictwo może nie tylko ograniczać zużycie energii ze źródeł kopalnych i zwiększać efektywność energetyczną, ale także stać się producentem energii ze źródeł odnawialnych, dzięki ułatwionemu dostępowi do źródeł takich jak: biomasa, biogaz, czy uprawy energetyczne, a także korzystając z ogólnodostępnych zasobów, takich jak: energia słoneczna, wiatr i woda.

**Produkcję czystej energii** dla rolnictwa można osiągnąć poprzez zastosowanie takich rozwiązań jak: fotowoltaika (7, 24), termiczna energia słoneczna (39), turbiny wiatrowe (35), pompy ciepła (2), produkcja biogazu/biometanu (4, 29), konwersja biomasy stałej (8). Dynamicznie rozwijającymi się źródłami energii odnawialnej w europejskim miksie energetycznym na przestrzeni lat 2009–2019 były: energia wiatru – obecnie stanowi ona ponad 5% światowego zaopatrzenia w energię – oraz energia słoneczna (18), która zaspokaja obecnie ponad 2,5% globalnego zapotrzebowania na energię elektryczną. Zgodnie z raportem IEA z 2021 r. (19), prognozowana jest dalsza ekspansja energii odnawialnej, sięgająca nawet 95% wzrostu globalnej produkcji energii do roku 2026. Natomiast w samej Europie przewiduje się, że moc energii odnawialnej zwiększy się o 45%, głównie z uwagi na rozwój fotowoltaiki i energii wiatrowej. Trajektoria prognozowanego wzrostu mocy wskazuje, że wzrost udziału energetyki odnawialnej w Unii Europejskiej może wyprzedzić obecne krajowe plany w zakresie energii i klimatu (NECP) na 2030 r. (19). Wprawdzie rosnące ceny towarów, energii i transportu spowodowały wzrost kosztów produkcji i transportu modułów fotowoltaicznych, turbin wiatrowych i biopaliw na całym świecie, ale nie bez wpływu na tę sytuację pozostają rosnące ceny detaliczne energii elektrycznej na kluczowych rynkach zwiększające atrakcyjność produkcji własnej energii elektrycznej. Od początku 2020 r. zaobserwowano także wzrost udziału ciepła ze źródeł odnawialnych, głównie w Europie, co jest bardzo istotne, biorąc pod uwagę fakt, iż dostawy ciepła stanowiły ponad 40% globalnych emisji CO<sub>2</sub> związanych z energią w 2020 r. Nadal pozostają one jednak w dużym stopniu zależne od paliw kopalnych.

Ważnym aspektem jest również **poprawa efektywności energetycznej**, która może być rozpatrywana w kontekście budynków rolniczych, maszyn i narzędzi, a także stosowania technik rolnictwa precyzyjnego i konserwującego czy precyzyjnej hodowli zwierząt. Budynki rolnicze obejmują szereg konstrukcji, w których można – w zależności od ich przeznaczenia – rozważać różne sposoby ograniczania zużycia energii i podnoszenia efektywności energetycznej, na przykład w budynkach inwentarskich, szklarniach, magazynach i suszarniach – stosując energooszczędne systemy wentylacji (10), ogrzewania (1, 21) czy oświetlenia, instalacje pozwalające na odzysk energii i zapobieganie stratom ciepła (11), inteligentne systemy zarządzania służące kontrolowaniu i optymalizacji warunków panujących wewnątrz konstrukcji



rolniczej (23, 34) lub też konstrukcje pasywne energetycznie (3). Z kolei efektywność energetyczna rozpatrywana w kontekście pojazdów i maszyn rolniczych to nie tylko mniejsze zużycie paliwa czy energii elektrycznej (25), ale także efektywne ich wykorzystanie do prowadzonych prac polowych, np. dzięki zastosowaniu zasad rolnictwa precyzyjnego i systemów sterowania ruchem maszyn rolniczych (36), oraz w precyzyjnej hodowli zwierząt inwentarskich (26). Rolnictwo precyzyjne pozwala dodatkowo uzyskać – zarówno w produkcji roślinnej, jak i zwierzęcej – zwiększenie efektywności nakładów produkcyjnych, takich jak zużycie wody, np. do mycia urządzeń rolniczych, nawadniania upraw, zwiększenie efektywności stosowanych precyzyjnie nawozów i środków ochrony roślin, czy też materiału siewnego i ograniczanie ilości uwalnianego amoniaku (17).

Dostępne dla rolnictwa działania na rzecz łagodzenia zmian klimatu to nie tylko ograniczanie emisji związanych ze zużyciem energii ze źródeł kopalnych, ale także wiązanie węgla atmosferycznego. Rośliny, budując biomasę, wychwytyją dwutlenek węgla z powietrza i częściowo sekwestrują go również w glebie. Proces ten dotyczy około jednej trzeciej CO<sub>2</sub> wytwarzanego przez ludzi, z czego około 10–15% ostatecznie trafia do gleby (31). W pracach zespołu kierowanego przez Deborah Bossio (6) wskazano, że węgiel glebowy stanowi 25% potencjału naturalnych rozwiązań redukujących skutki zmian klimatu, z czego 40% to ochrona związanego węgla w glebie, a 60% to odbudowa wyczerpanych zasobów. Dzięki stosowaniu zasad zwiększających **sekwestrację węgla** (16, 27), można korzystnie wpłynąć na łagodzenie zmian klimatycznych. Praktyki, które sprzyjają sekwestracji węgla w glebie, to m.in. stosowanie płodozmienu, utrzymanie całorocznego pokrycia gleby, stosowanie systemów uprawy konserwującej, zarządzanie składnikami nawozowymi oraz dywersyfikacja upraw. W ostatnim czasie popularność zyskuje także tzw. rolnictwo węglowe, które dzięki administracyjnym narzędziom wsparcia oferującym bezpośrednie korzyści finansowe rolnikom, umożliwia ekonomicznie efektywne działania na rzecz sekwestracji węgla w zarządzanych przez siebie „magazynach węglowych” (ang. *carbon sink*) – czyli w glebie pól uprawnych. Zwiększanie wiązania węgla w glebie to zatem nie tylko sposób na zmniejszenie emisji, ale też wzrost glebowej materii organicznej, istotnie wpływającej na wielkość uzyskiwanych plonów, a więc poprawę efektywności ekonomicznej.

UE wspiera rozwój niskoemisyjnych technologii i zwiększanie efektywności energetycznej między innymi poprzez program Horyzont 2020 finansujący badania i innowacje w tym zakresie. Jednym z nich jest projekt AgroFossilFree koordynowany przez Centrum Badań i Technologii – Hellas (CERTH) i realizowany wspólnie z 15 partnerami z 9 krajów UE (IR, NL, DE, DK, PL, ES, IT, BE, EL). Ma on na celu przyczynić się do budowy strategii UE (takich jak Europejski Zielony Ład czy strategia „Od pola do stołu”) poprzez działania na rzecz zmniejszenia wykorzystania paliw kopalnych we wszystkich procesach rolniczych „od kołyski do bramy”, jednocześnie utrzymując wysokie plony i jakość produktów końcowych. W niniejszej pracy przed-

stawione zostaną wyniki analiz prowadzonych na rzecz budowy platformy AgEnergy, która została zrealizowana w ramach projektu AgroFossilFree, w celu stworzenia ram do współpracy interesariuszy i umożliwienia im oceny Technologii i Strategii Wolnych od Paliw Kopalnych (ang. *Fossil Energy Free Technologies and Strategies* – FEFTS) dostępnych do wdrożenia w rolnictwie UE. Termin FEFTS odnosi się do produkcji czystej i wydajniejszej energii i jej wykorzystania w rolnictwie. Pomoże to także zamknąć lukę pomiędzy dostępnymi technologiami i strategiami wolnymi od paliw kopalnych a praktykami rolniczymi stosowanymi w UE, dzięki promowaniu efektywnej wymiany nowatorskich pomysłów i informacji pomiędzy środowiskami nauki, przemysłu i rolnictwa.

## Metody

### Platforma AgEnergy

Platforma AgEnergy jest głównym produktem projektu AgroFossilFree. Jej główne cele to:

- upowszechnienie zgromadzonej wiedzy dotyczącej FEFTS,
- optymalizacja transferu wiedzy do interesariuszy związanych z rolnictwem,
- zaangażowanie użytkowników platformy we współtworzenie bazy danych poprzez dodawanie nowych i ocenę już istniejących FEFTS.

Podstawowym narzędziem analitycznym, które zostało użyte do budowy bazy wiedzy Platformy AgEnergy była inwentaryzacja FEFTS, która została scharakteryzowana poniżej.

Proces identyfikacji i rejestracji istniejących technologii i strategii wolnych od paliw kopalnych (FEFTS), mających zastosowanie lub możliwych do wprowadzenia w rolnictwie przeprowadzono, opierając się na teorii teorii dyfuzji innowacji Everreta Rogersa (30). Teoria Rogersa posłużyła do wstępnej identyfikacji istniejących innowacji oraz ich twórców, co jest kluczowe dla budowy bazy danych dotyczących FEFTS. Następnie zidentyfikowano źródła, które zostały przeszukane pod kątem adekwatnych rozwiązań, zgodnie z przyjętą metodyką. W zależności od źródła innowacyjnego rozwiązania przyjęto kategoryzację wyników wyszukiwania zgodnie z tabelą 1.

Tabela 1

Źródła FEFTS zidentyfikowane na potrzeby budowy Platformy AgEnergy

Lp.	Źródło	Rodzaj FEFTS
1.	producenci i dostawcy FEFTS	technologie komercyjne
2.	środowisko naukowe, doradztwo i usługi upowszechnieniowe, instytucje szkoleniowe	publikacje naukowe projekty badawcze materiały szkoleniowe
3.	instytucje finansujące	mechanizmy finansowania

Źródło: AgroFossilFree, Deliverable 2.1: Report on methodology and standards (20)

Proces identyfikacji i selekcji FEFTS został udokumentowany szczegółowo w raportach opracowanych przez partnerów projektu (5, 22, 32, 33, 38).

Zgromadzone FEFTS zostały podzielone na kategorie na podstawie dedykowanego sposobu wykorzystania (użytkownik/zastosowanie technologii) oraz na podstawie metody ograniczania zużycia paliw kopalnych i emisji gazów cieplarnianych, wyróżniając: (I) dostarczanie czystej energii (produkcja i magazynowanie), (II) zwiększanie efektywności energetycznej (energooszczędność) oraz (III) sekwestrację węgla w glebie. Dalszy szczegółowy podział FEFTS na podkategorie przedstawia tabela 2.

Tabela 2

Szczegółowy podział FEFTS

Kategoria FEFTS	Podkategoria: poziom 1	Podkategoria: poziom 2
Użytkownik/kosument energii	rolnicze zastosowanie technologii	ogrzewanie i chłodzenie budynków
		ogrzewanie/chłodzenie w procesach rolniczych
		oświetlenie
		rolnicze praktyki polowe
		pojazdy rolnicze
		narzędzia/maszyny
Dostarczanie czystej energii	źródła energii odnawialnej	sprzedaż energii zewnętrznym konsumentom
		słońce
		wiatr
		woda
		geotermia
	rodzaje energii	bioenergia
		ogrzewanie
		chłodzenie
		energia elektryczna
		energia mechaniczna
	technologie pozyskiwania energii	energia chemiczna
		fotowoltaika
		kolektory solarne
		turbiny wiatrowe
		hydroenergia/elektrownie wodne
		pompy ciepła
		energia geotermalna
		konwersja biomasy stałej
	produkcja biogazu/biometanu	
	magazynowanie energii	produkcja biopaliw ciekłych
magazynowanie ciepła		
magazynowanie energii elektrycznej		
magazynowanie zimna		
		pośrednie nośniki bioenergii

cd. tab. 2

Kategoria FEFTS	Podkategoria: poziom 1	Podkategoria: poziom 2
Poprawa efektywności energetycznej	energooszczędność	energooszczędne budynki
		energooszczędne pojazdy
		energooszczędne narzędzia i maszyny rolnicze
		rolnictwo precyzyjne
		hodowla precyzyjna
		rolnictwo konserwujące
Sekwestracja węgla	sekwestracja węgla	pokrywa organiczna gleby
		uprawa (rolnictwo konserwujące + nawigacja maszynami rolniczymi)
		gospodarowanie składnikami nawozowymi
		plodozmian
		techniki ochrony gleby i wody
		zarządzanie użytkami zielonymi

Źródło: AgroFossilFree, Deliverable 2.1: Report on methodology and standards (20)

Identyfikacja FEFTS przebiegała na podstawie przeglądu dostępnej literatury naukowej, projektów badawczych lub istniejących na rynku rozwiązań z zakresu technologii i strategii wolnych od paliw kopalnych, a także dostępnych mechanizmów ich finansowania. Zbudowana w ten sposób baza danych zawiera rozwiązania zarówno w zaawansowanym stadium, jak i gotowe do wprowadzenia lub już dostępne na rynku, a jednak niewystarczająco rozpowszechnione wśród użytkowników sektora rolniczego. Zawiera również opis rozwiązań w fazie eksperymentalnej i wdrożenia pilotażowe nadal będące przedmiotem badań i doskonalenia/dostosowywania do wykorzystania w rolnictwie.

Zgromadzone dane prezentowane są na autorskim portalu internetowym AgroFossilFree, który został udostępniony na początku 2022 r.

W bazie danych zgromadzono informacje dotyczące:

- oprogramowania,
- sprzętu,
- metodyki,
- procedur,
- kompleksowych rozwiązań.

Metodologia obejmuje szereg kategorii, które ułatwiają wyszukiwanie na platformie internetowej. Zbiory zostały skatalogowane w pięciu grupach głównych:

- publikacje naukowe,
- projekty badawcze,
- technologie komercyjne,
- materiały szkoleniowe i doradcze,
- mechanizmy wsparcia finansowego.

## Wyniki i dyskusja

Wynikiem przeprowadzonych prac jest uruchomienie strony internetowej projektu jak również Platformy AgEnergy. Informacje związane z projektem są udostępniane za pośrednictwem strony internetowej, odwiedzający mogą zapoznać się z celem projektu i być na bieżąco z nadchodzącymi wydarzeniami oraz nowymi rozwiązaniami związanymi z technologiami i strategiami wolnymi od energii kopalnej (FEFTS). Specjalnie zaprojektowana Platforma AgEnergy, która gromadzi istniejące na rynku technologie i strategię FEFTS w postaci łatwo dostępnych i zrozumiałych dla użytkownika końcowego materiałów opracowanych zgodnie z formatem EIP-Service Point, znajduje się pod adresem: <https://platform.agrofossilfree.eu/en>. Platforma dostępna jest w siedmiu językach krajów partnerskich projektu. Platforma AgEnergy służy również jako narzędzie do oceny online zinwentaryzowanych FEFTS przez zainteresowane strony w całej Europie i pozwala na pozyskiwanie oddolnych pomysłów i potrzeb badawczych. W ramach prac zespołu projektowego na platformie opublikowano 836 FEFTS (tab. 3).

Tabela 3

Opublikowane rozwiązania FEFTS

Typ rozwiązania FEFT	Zebrane	Opublikowane
Publikacje naukowe	489	482
Projekty badawcze	109	102
Technologie komercyjne	200	172
Materiały szkoleniowe i doradcze	40	34
Mechanizmy wsparcia finansowego	51	46
Razem	869	836

Platforma AgEnergy zawiera narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji (Decision Support Tool), które pomaga wybrać najbardziej efektywne FEFTS dla konkretnych potrzeb danego gospodarstwa, dzięki opcji uszeregowania najbardziej odpowiednich rozwiązań oraz zapewniając narzędzia do skutecznego planowania potrzebnych inwestycji.

Wśród **publikacji naukowych** najwięcej znalazło się prac angielskojęzycznych pochodzących z krajów Unii Europejskiej, Stanów Zjednoczonych Ameryki, Indii, Chin czy Wielkiej Brytanii. Ponad 50% zebranych artykułów jest ogólnodostępnych w sieci. Co istotne, większość nadesłanych prac dedykowana jest rolnikom i stowarzyszeniom producentów. Wynika to z faktu, że celem platformy jest upowszechnianie głównie tych technologii lub strategii energetycznych, które mogą (lub – po dostosowaniu – mogłyby) być wykorzystane przez rolnika. Jak wynika z przeprowadzonych analiz, duża część artykułów naukowych ma tendencję do przedstawiania i analizowania metodologii i procedur w większym stopniu niż gotowych

do wdrożenia technologii. Wiele opracowań dotyczy także polityki i ram rozwoju. W dużej mierze artykuły poświęcone są praktykom polowym oraz pozyskiwaniu energii, a także rozwiązaniom łączącym wiele technologii. Niemal połowę prezentowanych prac wśród praktyk polowych stanowią techniki nawadniania (49,3%), następnie techniki nawożenia (22,1%) oraz techniki uprawy/orki (20%). Praktyki te są zaliczane do najbardziej energochłonnych pod względem pośrednich nakładów energetycznych, stąd duże zainteresowanie naukowców tymi tematami. W kategorii dostarczania czystej energii większość artykułów dotyczy energii elektrycznej. Zaopatrzenie w energię elektryczną gospodarstw rolnych jest istotnym tematem w drodze do dążenia do niezależności energetycznej, jak również może stanowić dodatkowe źródło dochodu rolnika. Licznie reprezentowana jest także literatura naukowa dotycząca biomasy, biogazu czy biometanu.

Na platformie możemy znaleźć dane dotyczące ponad 100 **projektów naukowych** pochodzących z europejskich źródeł finansowania, takich jak H2020, Life, FP7. Jest również pewna liczba projektów finansowanych ze środków krajowych czy przemysłu. W większości przypadków są to projekty anglojęzyczne, jednak największa część koordynowana była w Hiszpanii, Niemczech, Francji czy Grecji. Projekty dedykowane są głównie rolnikom jako końcowemu odbiorcy; w dużej mierze mogą z nich czerpać wiedzę również stowarzyszenia producentów, doradcy rolni i przemysł. Najwięcej projektów dotyczy bezpośrednio praktyk rolniczych w terenie (78 ze 102), następnie FEFTS dedykowanych hodowli zwierząt (43 ze 102) i prawie równie liczna grupa FEFTS dotyczy upraw pod osłonami (40 z 102). Niemal połowa wybranych projektów oferuje FEFTS z wieloma możliwościami zastosowania w szerokiej gamie działań rolniczych. Wśród konkretnych obszarów zastosowań wiele projektów dotyczy zużycia energii elektrycznej w budynkach oraz przez narzędzia i maszyny rolnicze. Mniej liczne, ale również znaczące grupy stanowiły: zużycie ciepła w budynkach, zużycie paliwa na pracę ciągników i pojazdów czy na zasilanie narzędzi i maszyn rolniczych oraz potrzeby chłodnicze budynku. Oprócz powyższej bezpośredniej redukcji zużycia energii wiele zebranych FEFTS oferowało również pośrednie możliwości redukcji energii z paliw kopalnych, takie jak: zmniejszenie zużycia nawozów, pestycydów, redukcja obornika czy uproszczenie uprawy. Mniej liczne, ale również znaczące możliwości redukcji zużycia energii kopalnej stanowią następujące kategorie: redukcja zużycia wody, materiału siewnego, leków stosowanych w hodowli zwierząt inwentarskich, redukcja zużycia wapna, pasz oraz poprawa dobrostanu zwierząt.

Biorąc pod uwagę pochodzenie FEFTS, największy udział w bazie mają **komercyjne rozwiązania** opracowane w Niemczech – 45. Kraje takie jak: Dania, Holandia i Polska są również licznie reprezentowane, przez odpowiednio: 20, 19 i 18 firm zidentyfikowanych dotychczas przez konsorcjum. W innych krajach europejskich, jak Hiszpania – 7, Włochy – 13, Irlandia – 10, Grecja – 7 i Francja – 4 również zidentyfikowano reprezentatywną liczbę produktów komercyjnych, które mogłyby znaleźć

zastosowanie w rolnictwie. Poza UE dużą liczbę technologii dostarczają również firmy z Wielkiej Brytanii – 6, Szwajcarii – 8, Stanów Zjednoczonych Ameryki – 12, i Chin – 6. Większość komercyjnych rozwiązań FEFTS może być wykorzystywana w uprawach polowych – 127, aż 96 technologii może być wykorzystywanych w hodowli zwierząt, a 85 ma zastosowanie w szklarniach.

**Materiały szkoleniowe** stanowią istotny element Platformy AgEnergy. Posłużą one do poszerzenia wiedzy interesariuszy i zachęcą do minimalizowania zużycia paliw kopalnych. Większość zebranych materiałów szkoleniowych ma wiele zastosowań technicznych i dotyczą one: poprawy efektywności energetycznej, produkcji energii odnawialnej i sekwestracji węgla w glebie. W zakresie produkcji energii odnawialnej wszystkie materiały szkoleniowe odnoszą się do systemów produkcyjnych, wśród których najliczniejsze kategorie to energia słoneczna (fotowoltaika i agrowoltaika) i biomasa (produkcja biogazu/biometanu). Jeśli chodzi o poprawę efektywności energetycznej, materiały szkoleniowe odnoszą się głównie do kategorii „efektywne narzędzie”, podczas gdy w odniesieniu do sekwestracji węgla w glebie materiały szkoleniowe koncentrują się głównie na systemach uprawy roli.

Zebrane **mechanizmy finansowania** dotyczą głównie systemów wsparcia dla rolników, firm, przemysłu, stowarzyszeń producentów, wytwórców energii, wykonawców, usług doradczych, decydentów i środowiska nauki. Większość z tych mechanizmów daje możliwości wsparcia różnym grupom użytkowników i w zakresie wielorakich działań, ale są też programy ukierunkowane na bardziej specyficzne obszary, takie jak produkcja czystej energii (wsparcie inwestycji w instalacje do produkcji energii odnawialnej), zwiększanie efektywności energetycznej dzięki dofinansowaniom na modernizację gospodarstw, czy też konkretne praktyki rolnicze (np. rolnictwo węglowe).

Informacje publikowane na Platformie AgEnergy są sukcesywnie aktualizowane przez cały czas trwania projektu przez konsorcjum AgroFossilFree. Zarejestrowani użytkownicy mają możliwość oceny dostępnych FEFTS, jak również samodzielnego ich dodawania do bazy za pomocą formularza online. Przed opublikowaniem, wszystkie przesłane propozycje FEFTS poddawane są procesowi weryfikacji, co zapewnia rzetelność i adekwatność udostępnianych informacji. Dzięki ciągłej współpracy z interesariuszami, Platforma AgEnergy stanowi zbiór użytecznych narzędzi i praktyk dla rolnictwa bezemisyjnego, ale także ułatwia opracowanie odpowiednich strategii i wytycznych dla europejskiego rolnictwa bezemisyjnego. Po zakończeniu projektu AgroFossilFree, platforma AgEnergy zostanie włączona do sieci EIP, zapewniając trwałość osiągniętych rezultatów.

## Podsumowanie

Rolnictwo będzie w stanie w pełni dostosować się do polityki ograniczania zużycia energii z paliw kopalnych, powiązanych ram prawnych i regulacyjnych oraz zrówno-

ważonej produkcji żywności tylko wtedy, gdy zainteresowane strony z branży rolniczej uzyskają dostęp do aktualnej wiedzy i informacji o istniejących i przyszłych postępach technologicznych w sektorze energetycznym. W celu odpowiedniego wykorzystania potencjału dostępnych narzędzi i praktyk, które rozwinęły się dzięki dotychczasowym badaniom naukowym i wysiłkom przemysłowym, potrzebny jest kluczowy element umożliwiający wypełnienie luki pomiędzy zgromadzoną wiedzą a praktyką. Platforma AgEnergy zapewnia łatwy dostęp do istniejących technologii i strategii wolnych od energii kopalnej i umożliwia interakcję z odpowiednimi interesariuszami w celu wyrażania ich potrzeb i pomysłów na dalszy rozwój oferowanych rozwiązań. Platforma daje możliwość oceny zinventaryzowanych FEFTS oraz uszeregowania technologii w rankingu zgodnie z własnymi potrzebami, przydatnością, zastosowaniem oraz wykonalnością. Dzięki informacji zwrotnej otrzymanej od interesariuszy, możliwe jest lepsze dopasowanie rozwiązań niskoemisyjnych proponowanych rolnictwu do rzeczywistych potrzeb tego sektora. Wdrażanie prezentowanych na Platformie rozwiązań przyczyni się do produkcji żywności w sposób niewywołujący presji na środowisko i zapewniający rolnikom wyższe dochody.

## Literatura

1. A h a m e d M.S., Guo H., Tanino K.: Energy saving techniques for reducing the heating cost of conventional greenhouses. *Biosystems Engineering*, 2019, **178**: 9-33.
2. A n i f a n t i s A.S., Pascuzzi S., Scarascia-Mugnozza G.: Geothermal source heat pump performance for a greenhouse heating system: An experimental study. *Journal of Agricultural Engineering*, 2016, **47(3)**: 164-170.
3. B a l a s M.M.: Seven passive greenhouse synergies. *Acta Polytechnica Hungarica*, 2014, **11.4**: 199-210.
4. B i e l s k i S., Marks-Bielska R., Zielińska-Chmielewska A., Romaneckas K., Šarauskis E.: Importance of agriculture in creating energy security—a case study of Poland. *Energies*, 2021, **14(9)**: 2465.
5. B o r z ę c k a M., Wydra M.: Deliverable. 2.5: Report on research project results on FEFTS, 2021.
6. B o s s i o D.A., Cook-Patton S.C., Ellis P.W. et al.: The role of soil carbon in natural climate solutions. *Nat Sustain*, 2020, **3**: 391-398. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0491-z>
7. B r e e n M., Upton J., Murphy M.D.: Photovoltaic systems on dairy farms: Financial and renewable multi-objective optimization (FARMOO) analysis. *Applied Energy*, 2020, **278**: 115534.
8. C a v a l a g l i o G., Cotana F., Nicolini A., Coccia V., Petrozzi A., Formica A., Bertini A.: Characterization of various biomass feedstock suitable for small-scale energy plants as preliminary activity of biocheaper project. *Sustainability*, 2020, **12(16)**: 6678.
9. C h e n X., Shuai C., Zhang Y., Wu Y.: Decomposition of energy consumption and its decoupling with economic growth in the global agricultural industry. *Environmental Impact Assessment Review*, 2020, **81**: 106364.
10. C o s t a n t i n o A., Comba L., Sicardi G., Bariani M., Fabrizio E.: Energy performance and climate control in mechanically ventilated greenhouses: A dynamic modelling-based assessment and investigation. *Applied Energy*, 2021, **288**: 116583.



11. Czarniecki D., Słyś D.: Możliwości odzysku ciepła odpadowego ze ścieków w gospodarstwach rolno-hodowlanych. *Proceedings of ECOpole*, 2015, **9(2)**: 571-579.
12. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylenia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE.
13. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2018/2002/UE z dnia 11 grudnia 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej.
14. European Environment Agency: Energy and climate change, 2017. <http://www.eea.europa.eu/signals/signals-2017/articles/energy-and-climate-change>
15. European Environment Agency: Primary energy consumption by fuel, 2021. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/primary-energy-consumption-by-fuel-6/assessment-2>
16. Faber A., Jarosz Z.: Modelowanie bilansu węgla organicznego w glebie oraz emisji gazów cieplarnianych w skali regionalnej oraz w Polsce. *Problems of World Agriculture/Problemy Rolnictwa Światowego*, 2018, **18(33)**: 3: 102-112.
17. Gołaszewski J.: Efektywność Energetyczna w Rolnictwie Europejskim – Studium Przypadków, Wydawnictwo UWM, Olsztyn 2013. [http://www.uwm.edu.pl/cbeo/sites/default/files/u260/efektywnosc-energetyczna-w-rolnictwie-europejskim-studium-przypadkow\\_1.pdf](http://www.uwm.edu.pl/cbeo/sites/default/files/u260/efektywnosc-energetyczna-w-rolnictwie-europejskim-studium-przypadkow_1.pdf)
18. IEA, Renewable energy market update. Outlook for 2020 and 2021. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/d6a7300d-7919-4136-b73a-3541c33f8bd7/RenewableEnergyMarketUpdate2022.pdf>
19. IEA, Renewables 2021. Analysis and forecast to 2026. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5ae32253-7409-4f9a-a91d-1493f1b9777a/Renewables2021-Analysisandforecastto2026.pdf>
20. Kaminari M., Anastasiou E., Tsiropoulos Z.: Deliverable 2.1: Report on methodology and standards, 2021.
21. Kapić J., Pawlak H., Ścibisz M.: Carbon dioxide emission reduction by heating poultry houses from renewable energy sources in Central Europe. *Agricultural Systems*, 2015, **139**: 238-249.
22. Kristensen E.F., Sørensen C.G., Balafoutis T., Vaiopoulos K., Vandrova F.: Deliverable 2.14: Available financing tools in EU agriculture, 2021.
23. Maher A., Kamel E., Enrico F., Atif I., Abdelkader M.: An intelligent system for the climate control and energy savings in agricultural greenhouses. *Energy Efficiency*, 2016, **9(6)**: 1241-1255.
24. Marucci A., Cappuccini A.: Dynamic photovoltaic greenhouse: Energy efficiency in clear sky conditions. *Applied Energy*, 2016, **170**: 362-376.
25. Matache M.G., Cristea M., Găgeanu I., Zapciu A., Tudor E., Carpus E., Popa L.D.: Small power electric tractor performance during ploughing works. *Inmatech-agricultural engineering*, 2020, **60(1)**: 123-128.
26. Moerkerken A., Duijndam S., Blasch J., van Beukering P., Smit A.: Determinants of energy efficiency in the Dutch dairy sector: dilemmas for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 2021, **293**: 126095.
27. Müller A.: Agricultural land management, carbon reductions and climate policy for agriculture. *Carbon Management*, 2012, **3(6)**: 641-654.
28. OECD. *Enhancing Climate Change Mitigation through Agriculture*, OECD Publishing, Paris, 2019. doi:10.1787/e9a79226-en.
29. Pugesgaard S., Olesen J.E., Jørgensen U., Dalgaard T.: Biogas in organic agriculture – effects on productivity, energy self-sufficiency and greenhouse gas emissions. *Renewable agriculture and food systems*, 2014, **29(1)**: 28-41.
30. Rogers E.M.: *Diffusion of innovations*. 4th Ed. New York, NY: the Free Press 1995.
31. Rumpel C., Amiraslani F., Koutika L.S., Smith P., Whitehead D., Wollenberg E.: Put more carbon in soils to meet Paris climate pledges, 2018, p. 32-43.

32. Rutz D., Hofmeier V., Chuan M.: Deliverable 2.11: Training and Advising FEFTS Material, 2021.
33. Rutz D., Hofmeier V., Chuan M.: Deliverable 2.8: Report on industrial FEFTS solutions, 2021.
34. Samaranyake P., Maier C., Chavan S., Liang W., Chen Z.H., Tissue D.T., Lan Y.C.: Energy Minimisation in a Protected Cropping Facility Using Multi-Temperature Acquisition Points and Control of Ventilation Settings. *Energies* 2021, **14**: 6014. <https://doi.org/10.3390/en14196014>
35. Shahbaz R., Kouravand S., Hassan-Beygi R.: Analysis of wind turbine usage in greenhouses: wind resource assessment, distributed generation of electricity and environmental protection. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2019, p. 1-21.
36. Shang G., Liu G., Zhu P., Han J.: Complete Coverage Path Planning for Horticultural Electric Tractors Based on an Improved Genetic Algorithm. *Journal of Applied Science and Engineering*, 2021, **24(3)**: 447-456.
37. Uprety D.C., Dhar S., Hongmin D., Kimball B.A., Garg A., Upadhyay J.: Technologies for Climate Change Mitigation – Agriculture Sector, Department of Management Engineering, Technical University of Denmark, 2012. [https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/10267141/Technologies\\_for\\_Climate\\_Change\\_Mitigation\\_Agriculture\\_for\\_upload.pdf](https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/10267141/Technologies_for_Climate_Change_Mitigation_Agriculture_for_upload.pdf)
38. Vandrouf, Vaiopoulos K., Balaoutis T.: Deliverable 2.2: Report on scientific papers of FEFTS, 2021.
39. Vengadesan E., Senthil R.: A review on recent developments in thermal performance enhancement methods of flat plate solar air collector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, **134**: 110315.
40. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental\\_indicator\\_-\\_energy\\_use](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_energy_use)
41. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable\\_energy\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics)

---

Adres do korespondencji:

*dr hab. Magdalena Borzęcka; mgr Małgorzata Wydra*  
*Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8*  
*24-100 Puławy*  
*tel.: 81 4786 761; 81 4786 984*  
*e-mail: Magdalena.Borzeczka@iung.pulawy.pl;*  
*Małgorzata.Wydra@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR	ORCID
Magdalena Borzęcka	0000-0002-3105-3370
Małgorzata Wydra	0000-0002-3576-1569



**Antoni Faber, Zuzanna Jarosz**

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy  
w Puławach*

ANALIZA PORÓWNAWCZA WSPÓŁCZYNNIKÓW STOSOWANYCH  
W SZACUNKACH EMISJI GAZÓW CIEPLARNIANYCH Z ROLNICTWA  
W POLSCE I WYBRANYCH KRAJACH EUROPEJSKICH\*

**Słowa kluczowe:** rolnictwo, gazy cieplarniane, emisja, współczynniki emisji

---

**Wstęp**

Polska jako sygnatariusz Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych (1994 r.) w sprawie zmian klimatu (UNFCCC) oraz Protokołu z Kioto i porozumienia z Doha zobowiązana jest do działań na rzecz ograniczenia zmian klimatu poprzez redukcję emisji gazów cieplarnianych (GHG). W latach 2008–2012 celem dla Polski było zmniejszenie całkowitej emisji GHG o 6% (7). Natomiast w latach 2013–2020 Unia Europejska i jej kraje członkowskie oraz Islandia na mocy porozumienia zobowiązały się do wspólnego wypełnienia celu redukcyjnego GHG na poziomie 80% sumy emisji wszystkich państw w latach bazowych (7). Podstawę do realizacji tego celu stanowił tzw. pakiet klimatyczno-energetyczny (5). Obejmował on źródła emisji należące do obszaru EU ETS (energetyka, ciepłownictwo, przemysł), którego emisje raportowane są i rozliczane bezpośrednio przez prowadzących instalacje. Drugim obszarem było non-ETS (pozostałe sektory gospodarki, w tym rolnictwo), którego emisje są raportowane i rozliczane przez poszczególne państwa członkowskie. Zgodnie z Effort Sharing Decision (ESD) Polska w ramach wspólnego unijnego celu redukcji w latach 2013–2020 miała obowiązek ograniczyć emisję GHG o 14% w stosunku do roku 2005 (7). W dalszej perspektywie UE przedstawiła ambitniejszy plan działania w zakresie ograniczania emisji GHG (55% w 2030 r.) i osiągnięcia neutralności klimatycznej w 2050 r. (6). Spełnienie postawionego celu wymaga zaangażowania w jego realizację wszystkich sektorów gospodarki.

---

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 8.0 pt. „Identyfikacja i opracowanie nowych krajowych wskaźników jednostkowych oraz zrównoważonych metod produkcji dla celów ochrony środowiska i przeciwdziałania zmianom klimatu w rolnictwie” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2022 r.

Wielkości emisji GHG oraz ich trendy przekazywane są do UNFCCC corocznie według wspólnego formatu raportowania (CRF). Jeśli poziom emisji GHG z jakichś źródeł nie może być zmierzony, jak np. w rolnictwie, jest on do celów raportowania szacowany według metodyk opracowanych przez Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC) (3). W szacunkach wykorzystuje się najczęściej domyślne współczynniki emisji poziomu pierwszego, których stosowanie jest zalecane np. dla regionów, stref klimatycznych, a nawet całego globu (3). Zamiast nich poszczególne kraje mogą korzystać z dokładniejszych współczynników poziomu drugiego, jeśli posiadają do ich opracowania potrzebne dane (3). Są to współczynniki specyficzne dla warunków panujących w danym kraju i nie mogą być stosowane poza nim. IPCC zachęca także do stosowania najdokładniejszych metod szacunków, jakimi są modele (metoda poziomu trzeciego) (3). Przed zastosowaniem model powinien być skalibrowany dla danych warunków, co wymaga zazwyczaj dużej ilości danych. Model skalibrowany dla danego kraju nie może być stosowany w innym kraju bez rekaliibracji i weryfikacji.

W Polsce za przygotowanie krajowych raportów inwentaryzacji emisji GHG odpowiedzialny jest Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE), który działa przy Instytucie Ochrony Środowiska – Państwowym Instytucie Badawczym (7, 8). W raportach oprócz danych o wielkościach emisji oraz ich trendach znaleźć można między innymi opisy stosowanych metodyk szacunków emisji oraz zamierzenia dotyczące planowanego ich doskonalenia.

### Materiały i metody

Porównanie współczynników emisji dla rolnictwa w Polsce i dziewięciu wybranych krajach europejskich było możliwe po obliczeniu dla każdego rolniczego źródła emisji implikowanych współczynników emisji (IEF) (4). Są to stosunki pomiędzy emisjami szacowanymi dla danych źródeł a wielkościami aktywności gospodarczej (1, 2, 7). Na przykład, współczynnik IEF dla  $CH_4$  z fermentacji jelitowej u bydła może być policzony z równania (1):

$$IEF_{(T)} = \frac{Emisja (CH_4)_{(T)}}{N_{(T)}} \times 10^6$$

gdzie:

$IEF_{(T)}$  – implikowany współczynnik emisji dla kategorii zwierząt T ( $kg CH_4 \cdot sztuk^{-1} \cdot r^{-1}$ );

$Emisja (CH_4)_{(T)}$  – emisja metanu dla kategorii zwierząt T ( $Gg CH_4 \cdot sztuk^{-1}$ );

$N_{(T)}$  – liczba sztuk na kategorię zwierząt T;

T – kategoria zwierząt.

W prezentowanym opracowaniu IEF dla emisji z fermentacji jelitowej oraz gospodarowania obornikiem przedstawiono w przeliczeniu na stanowisko zwierząt (2). Obliczone IEF są przydatne w weryfikacji zarówno współczynników emisji, jak

również działalności gospodarczych uwzględnionych w szacunkach emisji. Kiedy IEF odnoszone są do domyślnych współczynników emisji IPCC lub współczynników wziętych z literatury, mogą być pomocne w ustaleniu porównywalności lub specyficzności współczynników emisji stosowanych w poszczególnych krajach.

W opracowaniu przedstawiono IEF dla wszystkich źródeł emisji GHG raportowanych dla rolnictwa (3). Materiały wykorzystane do ich obliczeń pochodziły z raportów inwentaryzacji z roku 2018 (Niemcy 2019 r.) dla analizowanych krajów (2, 7, 8, 9). W ostatnim wierszu większości zestawień tabelarycznych podano także domyślne współczynniki emisji (EF) według IPCC, które oszacowane zostały metodą poziomu pierwszego (3). Większe lub mniejsze wartości IEF od domyślnej wartości współczynnika według IPCC wskazują, że w danym kraju zastosowano w szacunkach metodę poziomu drugiego lub trzeciego. Jednocześnie stosowanie IEF większych od domyślnych wartości EF według IPCC daje większe szacunki emisji i vice versa.

Celem pracy jest porównanie implikowanych współczynników emisji (IEF) stosowanych w Polsce na tle innych krajów europejskich, w aspekcie doskonalenia szacunków emisji GHG i możliwości ich obniżenia w produkcji rolniczej.

## Omówienie wyników

### Emisje gazów cieplarnianych z polskiego rolnictwa

Źródłami emisji GHG w rolnictwie są: fermentacja jelitowa u zwierząt gospodarskich ( $\text{CH}_4$ ), gospodarowanie nawozami naturalnymi ( $\text{CH}_4$  i  $\text{N}_2\text{O}$ ), użytkowanie gleb ( $\text{N}_2\text{O}$ ), wapnowanie gleb i nawożenie ich moczniakiem ( $\text{CO}_2$ ) oraz spalanie resztek poźniwnych ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ). Emisje z tych źródeł stanowią 7,78% całkowitej emisji GHG w Polsce (8). W stosunku do 1988 r. emisje z rolnictwa w 2019 r. zmniejszyły się o ok. 34,8% (8).

Udział rolnictwa w całkowitej emisji metanu w 2019 r. wynosił 30,7%, w tym emisja z fermentacji jelitowej zwierząt stanowiła 91,3%, zaś z gospodarowania nawozami naturalnymi 8,5% (7, 8). Sektor rolnictwa był w tym roku głównym emitentem  $\text{N}_2\text{O}$ , w czym 81,4% udziału miało użytkowanie gleb oraz 15,8% gospodarowanie nawozami naturalnymi (7, 8). Udział rolnictwa bez użytkowania gleb, zmian w ich użytkowaniu i leśnictwa (LULUCF) w emisji  $\text{CO}_2$  był niewielki i wynosił w 2019 r. ok. 0,4%. W sektorze LULUCF bilans netto emisji i pochłaniania  $\text{CO}_2$  wnosił w 2019 r. ok. 17,0 milionów ton (5,3% całkowitej emisji  $\text{CO}_2$ ), co oznacza, że w sektorze przeważało pochłanianie tego gazu nad emisją. Ze względu na znaczące udziały rolnictwa w emisjach  $\text{N}_2\text{O}$  i  $\text{CH}_4$  należałoby dążyć zwłaszcza do redukcji emisji tych gazów, co jest wyzwaniem dość trudnym w realizacji. W strukturze emisji w sektorze rolnictwa (100%) największy udział miały: użytkowanie gleb (45,5%), fermentacja jelitowa (38,8%) i gospodarowanie nawozami naturalnymi (12,2%).

## Współczynniki emisji dla fermentacji jelitowej

Oszacowane dla Polski współczynniki IEF związane z chowem zwierząt (krów mlecznych, innego bydła oraz trzody chlewnej) zostały porównane z odpowiednimi IEF dla niektórych krajów oraz domyślnymi wskaźnikami emisji wg IPCC (tab. 1, 2). Porównanie dotyczy danych z 2018 r. (ostatni rok trendów z raportów za 2020 r.), z wyjątkiem Niemiec (dane z 2019 r.).

Tabela 1

Współczynniki emisji metanu z fermentacji jelitowej krów mlecznych w różnych krajach w roku 2018

Kraj	IEF <sub>CH<sub>4</sub></sub> kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	Współczynnik Y <sub>m</sub> konwersji CH <sub>4</sub> MJ·MJ <sup>-1</sup>	Spożycie GE MJ·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	Produkcja mleka kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>
Austria	136	0,0650	318	19,5
Belgia	148	0,0610	371	23,1
Czechy	153	0,0650	359	23,4
Dania	161	0,0600	408	27,6
Francja	123	0,0613	306	19,3
Holandia	135	0,0573	297	bd
Niemcy	136	0,0632	329	22,1
Polska	127	0,0650	297	16,2
Szwajcaria	138	0,0690	304	23,2
Wielka Brytania	123	0,0647	289	21,6
IPCC (2006)*	117	0,0650		16,4

\*domyślny współczynnik emisji (EF) poziomu pierwszego wg IPCC (3)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: UNFCCC (9); FEA (2); dane dla Niemiec z 2019 r.

W tabeli 1 przedstawiono dane dla krów mlecznych, tj.: średnie wartości krajowych współczynników IEF związanych z miejscem przebywania zwierząt, spożycia energii brutto (GE) oraz wydajności mleka, które są kluczowym czynnikiem wpływającym na poziom emisji. Uwzględniono również współczynniki konwersji metanu (CH<sub>4</sub>). Te ostatnie służą do obliczania frakcji pobranego GE, która jest przekształcana w energię metanu traconą wraz z emisją tego gazu.

Wśród dziesięciu porównywanych krajów największy IEF ma Dania, a najmniejszy Wielka Brytania. Polska ma trzeci najmniejszy IEF po Wielkiej Brytanii i Francji. Spożycie GE jest również małe i lokuje Polskę po Wielkiej Brytanii, a na poziomie Holandii. Natomiast polskie krowy dają zdecydowanie najmniejszą produkcję mleka wśród porównywanych krajów, choć produkcja ta wzrosła o 83% w latach 1988–2019 (7). Dalsze zwiększanie tej produkcji mogłoby być istotnym sposobem ograniczenia emisji metanu, ponieważ umożliwiłoby zmniejszenie pogłównia krów. Jeśli chodzi

o współczynniki konwersji metanu, trzy kraje (Austria, Czechy i Polska) zastosowały domyślną wartość IPCC wynoszącą 6,5%. Wartość zastosowana przez Szwajcarię jest znacznie wyższa od wartości domyślnej IPCC. Współczynniki konwersji metanu stosowane przez Belgię, Danię, Francję, Niemcy, Holandię i Wielką Brytanię są niższe od wartości domyślnej IPCC, przy czym wartość stosowana przez Wielką Brytanię jest najbardziej zbliżona do wartości domyślnej IPCC.

W przypadku innego bydła wartości IEF wahają się od 35,5 kg·stanowisko<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup> (Holandia) do 59,1 kg·stanowisko<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup> (Austria) (tab. 2). W Polsce współczynnik emisji jest o 11% mniejszy od wartości domyślnej IPCC. Natomiast spożycie GE jest o 2,5% mniejsze od mediany GE w porównywanych krajach. Przedstawione dane sugerują, że opracowanie mniejszego współczynnika emisji będzie w Polsce dość trudne w kategorii innego bydła.

Tabela 2

Współczynniki emisji metanu z fermentacji jelitowej innego bydła oraz trzody chlewnej w różnych krajach w roku 2018

Kraj	Inne bydło		Trzoda chlewna	
	IEF <sub>CH<sub>4</sub></sub> kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	Spożycie GE MJ·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	IEF <sub>CH<sub>4</sub></sub> kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	Spożycie GE MJ·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>
Austria	59,1	139	1,50	bd
Belgia	50,2	131	1,50	bd
Czechy	57,8	148	1,50	bd
Dania	40,5	130	1,08	38,8
Francja	53,0	125	0,74	bd
Holandia	35,5	91	1,50	bd
Niemcy	45,2	108	1,16	35,8
Polska	50,7	119	1,50	bd
Szwajcaria	46,5	118	1,04	26,5
Wielka Brytania	55,1	105	1,50	bd
IPCC (2006)*	57		1,50	

\*domyślny współczynnik emisji (EF) poziomu pierwszego wg IPCC (3)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: UNFCCC (9); FEA (2); dane dla Niemiec z 2019 r.

W przypadku trzody wszystkie porównywane kraje, z wyjątkiem Danii, Niemiec, Francji i Szwajcarii, wykorzystują domyślną wartość EF według IPCC. Wymienione cztery kraje stosują IEF mniejsze od wartości domyślnej IPCC. Może to oznaczać, że domyślna wartość IPCC jest zbyt wysoka w stosunku do uwarunkowań w Europie Środkowej. Współczynnik IEF Francji, w kontekście porównania, wydaje się nierealistycznie niski. Pobór GE jest podawany tylko przez Danię, Niemcy i Szwajcarię. Szanse na opracowanie w Polsce mniejszego współczynnika emisji są w przypadku trzody raczej małe.



## Współczynniki emisji dla gospodarowania nawozami naturalnymi

### Metan

W tabeli 3 przedstawiono współczynnik IEF dla emisji CH<sub>4</sub> pochodzącej z gospodarki nawozami naturalnymi oraz ważniejsze czynniki wpływające na ten współczynnik. Zgodnie z wymogami raportowania (CRF) udziały procentowe dla systemów gnojowicowych oraz odpowiadające im wartości współczynnika konwersji metanu (MCF) odnoszą się wyłącznie do systemów, w których gnojowica nie jest poddawana fermentacji w biogazowniach.

Tabela 3

Współczynniki emisji metanu z gospodarowania nawozami naturalnymi pochodzącymi od bydła mlecznego w różnych krajach w roku 2018

Kraj	IEF <sub>CH<sub>4</sub></sub> kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>	Wskaźnik wydalania VS kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	System gnojowicowy (bez biogazowni)	
			udział %	średni współczynnik konwersji metanu (MCF) %
Austria	17,2	5,02	54,4	8,77
Belgia	30,3	5,32	47,4	19,00
Czechy	14,2	6,63	16,0	17,00
Dania	26,5	7,03	71,1	4,98
Francja	10,6	4,18	17,2	17,50
Holandia	38,3	4,85	82,7	17,00
Niemcy	20,2	3,97	52,4	15,33
Polska	11,1	6,03	10,5	17,00
Szwajcaria	27,8	4,82	69,0	13,51
Wielka Brytania	37,3	5,51	61,0	17,00
IPCC (2006)*	21–23	5,1	35,7	17–19

\*domyślny współczynnik emisji (EF) poziomu pierwszego wg IPCC (3)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: UNFCCC (9); FEA (2); dane dla Niemiec z 2019 r.

Rozrzut wartości współczynnika IEF w porównywanych krajach jest stosunkowo duży. Mediana (23,4 kg·stanowisko<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup>) jest nieco wyższa niż domyślny zakres wartości EF określony przez IPCC. Wartość tego współczynnika jest najmniejsza w Polsce w grupie porównywanych krajów i zarazem o połowę mniejsza od wartości domyślnej IPCC. Dzielne wydalanie VS w Polsce lokuje się w górnej części skali i jest mniejsze jedynie w stosunku do Danii i Czech. Polski MCF dla systemów gnojowicowych ma dolną wartość IPCC, podczas gdy stopień wykorzystania tych systemów jest ponad trzykrotnie mniejszy od wartości domyślnej IPCC. Dalsze zmniejszenie współczynnika emisji nie wydaje się w Polsce możliwe.

Współczynniki IEF dla  $\text{CH}_4$  z gospodarowania nawozami naturalnymi pochodzącymi od pozostałego bydła oraz czynniki istotnie wpływające na ten współczynnik przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Współczynniki emisji metanu z gospodarowania nawozami naturalnymi pochodzącymi od innego bydła w różnych krajach w roku 2018

Kraj	IEF <sub>CH<sub>4</sub></sub> kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>	Wskaźnik wydalania VS kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	System gnojowicowy (bez biogazowni)	
			udział %	średni współczynnik konwersji metanu (MCF) %
Austria	6,18	2,13	34,80	8,26
Belgia	2,97	1,60	16,20	19,00
Czechy	3,56	2,95	9,00	17,00
Dania	12,60	3,22	31,58	4,98
Francja	3,23	1,91	2,64	18,91
Holandia	7,82	1,20	52,54	17,00
Niemcy	6,88	1,40	31,91	15,39
Polska	2,06	1,93	5,06	17,00
Szwajcaria	6,83	2,48	33,17	13,51
Wielka Brytania	7,90	1,98	18,41	17,00
IPCC (2006)*	6–7	2,6	25,2	17–19

\*domyślny współczynnik emisji (EF) poziomu pierwszego wg IPCC (3)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: UNFCCC (9); FEA (2); dane dla Niemiec z 2019 r.

Polski współczynnik IEF jest najmniejszy w grupie analizowanych krajów. Główną przyczyną dużego zakresu wahań wartości IEF, poza różnicami w wielkościach VS i MCF, jest to, że częstość stosowania systemów nawożenia gnojowicą jest w poszczególnych krajach bardzo zróżnicowana. Nie wydaje się możliwe dalsze zmniejszenie współczynnika emisji w Polsce.

W gospodarowaniu nawozami naturalnymi pochodzącymi z chowu trzody chlewnej Polska ma po Austrii najmniejszy IEF metanu (tab. 5). Wskaźnik VS mamy nieznacznie większy (o 0,01) w stosunku do mediany, natomiast MCF przyjęto jako najmniejszą wartość domyślną według IPCC. Możliwości zmniejszenia współczynnika emisji z tego źródła są w Polsce raczej ograniczone.

W tabeli 6 przedstawiono dla drobiu średnie IEF, średnie wydalania VS oraz średnie masy ciała zwierząt, z których te ostatnie służą jako wskaźnik zapotrzebowania na energię, a więc określają spożycie paszy i wydalania. IEF, jeśli pominać stosunkowo wysoką wartość dla Czech, wahają się w przedziale od 0,017 do 0,035 kg·stanowisko<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup>. Najwyższą wartość współczynnika IEF w tej kategorii podały Niemcy. Polski IEF jest większy od mediany jego wartości dla porównywa-

nych krajów (0,021). Interpretację danych dla Polski utrudnia brak VS i średniej masy drobiu. Pomimo tych braków szanse na obniżenie współczynnika emisji w Polsce są raczej małe.

Tabela 5

Współczynniki emisji metanu z gospodarowania nawozami naturalnymi pochodzącymi z chowu trzody chlewnej w różnych krajach w roku 2018

Kraj	IEF <sub>CH<sub>4</sub></sub> kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>	Wskaźnik wydalania VS kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	System gnojowicowy (bez biogazowni)	
			udział %	średni współczynnik konwersji metanu (MCF) %
Austria	1,15	0,30	86	3,39
Belgia	4,46	0,22	97	19,00
Czechy	6,30	bd	45	bd
Dania	3,47	0,18	86	13,37
Francja	4,20	0,19	88	22,00
Holandia	5,52	0,40	58	36,00
Niemcy	4,17	0,31	78	22,18
Polska	1,58	0,31	25	17,00
Szwajcaria	4,10	0,31	85	13,51
Wielka Brytania	5,20	0,25	35	17,00
IPCC (2006)*	9–10 (lochy, knury); 6 (inne)	0,46 (lochy, knury); 0,30 (inne)		17–19

\*domyślny współczynnik emisji (EF) poziomu pierwszego wg IPCC (3)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: UNFCCC (9); FEA (2); dane dla Niemiec z 2019 r.

Tabela 6

Współczynniki emisji metanu z gospodarowania nawozami naturalnymi pochodzącymi z drobiu w różnych krajach w roku 2018

Kraj	IEF <sub>CH<sub>4</sub></sub> kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>	Wskaźnik wydalania VS kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	Średnia waga kg·zwierzę <sup>-1</sup>
Austria	0,024	0,02	bd
Belgia	0,023	bd	1,55
Czechy	0,105	bd	1,32
Dania	0,027	0,019	2,00
Francja	0,025	0,019	bd
Holandia	0,029	0,020	bd
Niemcy	0,035	0,026	1,68
Polska	0,027	bd	bd

cd. tab. 6

Kraj	IEF <sub>CH<sub>4</sub></sub> kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>	Wskaźnik wydalania VS kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	Średnia waga kg·zwierzę <sup>-1</sup>
Szwajcaria	0,017	0,013	bd
Wielka Brytania	0,021	0,013	bd
IPCC (2006)*	0,02-0,09	0,01–0,07	0,9–6,8

\*domyślny współczynnik emisji (EF) poziomu pierwszego wg IPCC (3)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: UNFCCC (9); FEA (2); dane dla Niemiec z 2019 r.

### Podtlenek azotu

Współczynniki emisji N<sub>2</sub>O z gospodarowania nawozami naturalnymi są znacznie zróżnicowane w porównywanych krajach (tab. 7). Ich zmienności nie da się wyjaśnić na podstawie raportowanych danych. Wartość IEF dla krów mlecznych w Polsce jest nieco powyżej mediany (0,581), podczas gdy wartość dla pozostałego bydła jest o około 30% niższa od mediany. W przypadku trzody chlewnej wartość dla Polski jest większa o 42% od mediany (0,055) i zbliżona do wartości podawanych przez Czechy i Niemcy. W przypadku drobiu Polska ma IEF bliski medianie (0,00085). Potencjalne możliwości zmniejszenia współczynników emisji w Polsce oceniane są jako niewielkie.

Tabela 7

Współczynniki bezpośredniej emisji podtlenku azotu (IEF) z gospodarowania nawozami naturalnymi dla bydła, trzody chlewnej i drobiu w roku 2018

Kraj	Bydło mleczne kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>	Inne bydło kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>	Trzoda chlewna kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>	Drób kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>
Austria	0,664	0,380	0,046	0,00078
Belgia	0,706	0,562	0,031	0,00090
Czechy	0,699	0,369	0,071	0,00360
Dania	1,038	0,368	0,064	0,00077
Francja	0,415	0,187	0,004	0,00070
Holandia <sup>a</sup>	0,412	0,245	0,025	0,00092
Niemcy	0,569	0,303	0,073	0,00133
Polska	0,593	0,234	0,078	0,00080
Szwajcaria <sup>a</sup>	0,334	0,144	0,022	0,00071
Wielka Brytania <sup>b</sup>	0,507	0,583	0,176	0,00482

<sup>a</sup>inne bydło obliczenie na podstawie CRF<sup>b</sup>w danych dotyczących bydła rozróżnia się krowy mleczne (krowy mleczne i mleczne matki zastępcze, w tym cielęta przeznaczone na krowy mleczne) oraz pozostałe – „pozostałe bydło”.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: UNFCCC (9); FEA (2); dane dla Niemiec z 2019 r.

## Współczynniki emisji dla podtlenku azotu z gleb użytkowanych rolniczo

Emisje podtlenku azotu z gleb użytkowanych rolniczo pochodzą z ośmiu głównych źródeł (tab. 8).

Tabela 8

Porównanie współczynników IEF wykorzystywanych do szacowania emisji podtlenku azotu ( $N_2O-N$ ) z gleb użytkowanych rolniczo w różnych krajach (stan na 2018 r.)

Kraj	Nawozy mineralne kg·kg <sup>-1</sup>	Nawozy naturalne kg·kg <sup>-1</sup>	Resztki poźniwne kg·kg <sup>-1</sup>	Mineralizacja N kg·kg <sup>-1</sup>	Gleby organiczne kg·kg <sup>-1</sup>	Wypas kg·kg <sup>-1</sup>	Depozycja N kg·kg <sup>-1</sup>	Wymywanie N kg·kg <sup>-1</sup>
Austria	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	8,2000	0,0168	0,010	0,0075
Belgia	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	8,0000	0,0195	0,010	0,0075
Czechy	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	bd	0,0187	0,010	0,0023
Dania	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	7,7898	0,0178	0,010	0,0046
Francja	0,0100	0,0100	0,0100	bd	8,0183	0,0191	0,010	0,0075
Holandia	0,0130	0,0130	0,0139	bd	4,4463	0,0330	0,012	0,0075
Niemcy	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	6,2019	0,0190	0,010	0,0075
Polska	0,0100	0,0100	0,0100	bd	8,0000	0,0192	0,010	0,0075
Szwajcaria	0,0098	0,0100	0,0100	0,0100	8,0000	0,0189	0,026	0,0075
Wielka Brytania	0,0073	0,0046	0,0100	0,0100	8,0000	0,0047	0,010	0,0075
IPCC(2006)*	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	8,0000	0,01–0,02	0,010	0,0075

\*domyślny współczynnik emisji (EF) poziomu pierwszego wg IPCC (3)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: UNFCCC (9); FEA (2); dane dla Niemiec z 2019 r.

Znaczne ilości  $N_2O$  emitowane są ze zużycia nawozów mineralnych i naturalnych. W przypadku nawozów mineralnych większość krajów wykorzystuje w szacunkach domyślne współczynniki emisji według IPCC. Mniejsze od domyślnych współczynników stosowane są w Wielkiej Brytanii i Szwajcarii, natomiast większe w Holandii. Znacznie mniejszy współczynnik przyjęty w Wielkiej Brytanii wskazuje, że można znaleźć metodę poziomu drugiego dającą współczynnik mniejszy od wartości domyślnej. Brytyjczycy znaleźli również znacznie mniejszy od wartości domyślnej współczynnik IEF w przypadku nawozów naturalnych. Holendrzy natomiast stosują współczynnik większy od domyślnego. W pozostałych krajach wykorzystywany jest współczynnik domyślny. Emisje pochodzące z azotu uwalnianego z resztek poźniwnych i mineralizacji N w glebie szacowane są we wszystkich krajach przy użyciu domyślnego współczynnika. Emisje powstające wskutek użytkowania gleb organicznych

szacowane są przy użyciu współczynników domyślnych w pięciu krajach. W dwóch krajach stosuje się większe, zaś w trzech – mniejsze współczynniki w porównaniu z wartościami domyślnymi. Stosowany w Holandii współczynnik emisji jest o 44% mniejszy od wartości domyślnej według IPCC. To dobry prognostyk dla KOBiZE, który zamierza poprawić metodykę szacunków emisji z tego źródła (7). Źródłem emisji jest również azot wydalany przez wypasane zwierzęta. Zakres stosowanych współczynników domyślnych IPCC jest dość szeroki (0,1–0,2 kg·kg<sup>-1</sup>), a stosowane współczynniki w poszczególnych krajach wahają się w zakresie jeszcze szerszym (tab. 8). Najmniejszy współczynnik stosuje Wielka Brytania (0,0047 kg·kg<sup>-1</sup>), największy zaś Holandia (0,0330 kg·kg<sup>-1</sup>). Wykorzystywany w obliczeniach w Polsce współczynnik IEF leży w pobliżu górnej granicy współczynników domyślnych i trudno będzie go obniżyć. We wszystkich porównywanych krajach stosuje się współczynniki domyślne IPCC do szacowania emisji N<sub>2</sub>O dla azotu wnoszonego do gleb wskutek depozycji i wymywania azotu.

### Współczynniki emisji dla dwutlenku węgla z wapna nawozowego oraz mocznika

W szacunkach emisji dwutlenku węgla z wapna nawozowego, dolomitu i mocznika wykorzystywane są domyślne wskaźniki emisji według IPCC (tab. 9). Jedynie dwa kraje, Dania i Niemcy, wprowadziły własne wskaźniki emisji dla innych nawozów zawierających wapń.

Tabela 9

Porównanie współczynników emisji (IEF) dwutlenku węgla z wnoszonego do gleby wapna nawozowego oraz mocznika

Kraj	Wapno kg·kg <sup>-1</sup>	Dolomit kg·kg <sup>-1</sup>	Inne nawozy zawierające wapń kg·kg <sup>-1</sup>	Mocznik kg·kg <sup>-1</sup>
Austria	0,12	0,13	bd	0,20
Belgia	0,12	0,13	bd	0,20
Czechy	0,12	0,13	bd	0,20
Dania	0,12	bd	0,03000	0,20
Francja	0,12	0,13	bd	0,20
Holandia	0,12	0,13	bd	bd
Niemcy	0,12	0,13	0,02748	0,20
Polska	0,12	0,13	bd	0,20
Szwajcaria	0,12	0,13	bd	0,20
Wielka Brytania	0,12	0,13	bd	0,20
IPCC (2006)*	0,12	0,13		0,20

\*domyślny współczynnik emisji(IEF) poziomu pierwszego wg IPCC (3)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: UNFCCC (9); FEA (2); dane dla Niemiec z 2019 r.

## Podsumowanie

Stosowane w Polsce współczynniki IEF do szacowania emisji metanu z fermentacji jelitowej są większe od domyślnej wartości IPCC dla bydła mlecznego, ale mniejsze od mediany IEF dla porównywalnych krajów. Prawdopodobne jest, że możliwe będzie obniżenie emisji tego gazu w miarę wzrostu mleczności krów. W przypadku innego bydła IEF jest mniejszy, a dla trzody jest równy wartościom domyślnym IPCC. Jeszcze lepiej przedstawia się sytuacja dla emisji metanu z nawozów naturalnych. W tym przypadku IEF są mniejsze zarówno od wartości domyślnych, jak również median dla gospodarowania nawozami naturalnymi od bydła mlecznego, innego bydła i trzody, natomiast bardzo bliskie mediany w porównywanych krajach dla drobiu. Zmienne wartości IEF stwierdzono w Polsce dla emisji podtlenku azotu. Były one większe od mediany dla bydła mlecznego i trzody, natomiast mniejsze dla innego bydła i drobiu. W szacunkach emisji podtlenku azotu z użytkowania gleb stosuje się głównie domyślne wartości IPCC, co wynika z ciągle zbyt małej ilości pomiarów emisji. Wyjątek stanowią emisje z gleb organicznych oraz z azotu wydalanego podczas wypasu. KOBiZE zamierza udoskonalić szacunki emisji z gleb organicznych, co rokuje nadzieję na powodzenie. W szacunkach emisji dwutlenku węgla z wapna nawozowego, dolomitu i mocznika wykorzystywane są domyślne współczynniki IPCC.

Przeprowadzone porównania sugerują, że w produkcji roślinnej należałoby prowadzić więcej i szerzej zakrojonych pomiarów emisji podtlenku azotu. Jest to priorytetowe zadanie instytutów zajmujących się tą dziedziną produkcji rolnej.

## Literatura

1. FAO. Estimating Greenhouse Gas Emissions in Agriculture. A Manual to Address Data Requirements for Developing Countries. Rome, 2015.
2. Federal Environment Agency (FEA). National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990–2019, 2021.
3. IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2006. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.
4. IPCC. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Annex 2. Verification. 2001. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/\(IEFdef\)](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/(IEFdef))
5. Komisja Europejska. Pakiet klimatyczno-energetyczny do 2020 r. 2009. [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2020-climate-energy-package\\_pl](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2020-climate-energy-package_pl)
6. Komisja Europejska: Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Europejski Zielony Ład. COM(2019) 640 final, 2019.
7. Ministry of Climate and Environment. Poland's National Inventory Report. Greenhouse gas inventory for 1988–2019. National Centre for Emission Management (KOBiZE) at the Institute of Environmental Protection – National Research Institute, 2021.

8. MKiŚ. Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2021. Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce dla lat 1988–2019. Raport syntetyczny. Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE) w Instytucie Ochrony Środowiska – Państwowym Instytucie Badawczym, 2021.
  9. UNFCCC. National Inventory Submissions 2020. <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2020>.
- 

Adres do korespondencji:

*prof. dr hab. Antoni Faber; dr Zuzanna Jarosz*  
*Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8,*  
*24-100 Puławy*  
*tel.: 81 4786 767; 81 4786 766*  
*e-mail: faber@iung.pulawy.pl; zjarosz@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR	ORCID
Antoni Faber	0000-0002-3055-1968
Zuzanna Jarosz	0000-0002-3428-5804





Zuzanna Jarosz, Antoni Faber

*Institut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy  
w Puławach*

## PROJEKCJA REGIONALNEGO ZRÓŻNICOWANIA EMISJI AMONIAKU ZE ZUŻYCIA MINERALNYCH NAWOZÓW AZOTOWYCH\*

**Słowa kluczowe:** emisja amoniaku, mocznik z inhibitorem ureazy, regiony, projekcja

### Wstęp

W grudniu 2019 r. Komisja Europejska przedstawiła strategię Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ, ang. *European Green Deal*) (8), której celem jest przeciwdziałanie zmianom klimatu i ochrona środowiska. Planowane działania są ukierunkowane na efektywne wykorzystywanie zasobów, zapewnienie różnorodności biologicznej i ograniczenie zanieczyszczeń środowiskowych.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej 2016/2284 z dnia 14 grudnia 2016 r. (tzw. NEC) w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń atmosferycznych, zmiany dyrektywy 2003/35/WE oraz uchylecia dyrektywy 2001/81/WE (1) nakłada na państwa członkowskie obowiązek oceny, do jakiego stopnia krajowe źródła emisji mogą wpływać na jakość powietrza na ich terytoriach i w sąsiednich państwach członkowskich. W celu ochrony powietrza państwa członkowskie zobligowane są do ograniczania emisji amoniaku oraz innych zanieczyszczeń atmosferycznych. Zgodnie z wymaganiami Polska powinna ograniczyć emisję amoniaku w każdym roku o 1% w latach 2020–2029 oraz o 17% po roku 2030 w stosunku do 2005 r. Jednocześnie każdy kraj powinien opracować własny plan działań prowadzący do uzyskania wyznaczonego celu. Monitorowanie, inwentaryzację i raporty na potrzeby dyrektywy NEC wykonuje Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE).

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 8.0 pt. „Identyfikacja i opracowanie nowych krajowych wskaźników jednostkowych oraz zrównoważonych metod produkcji dla celów ochrony środowiska i przeciwdziałania zmianom klimatu w rolnictwie” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2022 r.

W ramach zobowiązań w 2020 r. został opracowany „Kodeks doradczy dobrej praktyki rolniczej dotyczący ograniczania emisji amoniaku”, w którym zawarto szereg praktyk przyczyniających się do redukcji emisji amoniaku (7). W całym katalogu praktyk wskazano także działania dotyczące ograniczania emisji amoniaku ze stosowania mineralnych nawozów azotowych, zwłaszcza mocznika, którego stosowanie może powodować 5–40% strat azotu w formie amoniaku. Ograniczenie emisji amoniaku do atmosfery dobrze się wpisuje również w strategię Europejskiego Zielonego Ładu.

Jednym ze skutków wdrażania strategii jest wprowadzony od 1 sierpnia 2021 r. zakaz stosowania mocznika w formie granulowanej (11). Od tej daty mocznik granulowany będzie można stosować wyłącznie w formie mocznika zawierającego inhibitor ureazy lub powłokę biodegradowalną. Inhibitor ureazy ma za zadanie spowolnienie procesu hydrolizy mocznika i rozkładu do amoniaku i dwutlenku węgla. Szybka amonifikacja mocznika prowadzi do utleniania się amoniaku, a przemiana mocznika do najbardziej mobilnej w glebie formy azotanowej może stanowić zagrożenie dla środowiska (zanieczyszczenia wód azotanami). Dodanie inhibitora ureazy do mocznika spowalnia proces hydrolizy i zmniejsza straty wywołane ulatnianiem się amoniaku. Wpływa na wydłużenie czasu działania azotu dla roślin (z 6–8 tygodni do 8–16 tygodni), a tym samym przyczynia się do zwiększenia efektywności nawożenia azotem. Badania naukowe wskazują, że zastosowanie mocznika z inhibitorem może ograniczyć emisję amoniaku o około 70%, a w przypadku roztworu saletrano-mocznikowego (RSM) z inhibitorem o około 40%. Marcinkowski i Kierończyk (9), stosując mocznik z inhibitorem NBPT na użytkach zielonych, wykazali ograniczenie strat amoniaku o około 73% w stosunku do tradycyjnego mocznika. Efektywność inhibicji zależy od właściwości fizykochemicznych gleby (skład, temperatura, wilgotność, zawartość substancji organicznych, pH) oraz warunków klimatycznych (temperatura, ilość i intensywność opadów).

Innym rozwiązaniem może być stosowanie mocznika otoczkowanego powłoką biodegradowalną. W tym przypadku na uwalnianie dostępnego dla roślin mocznika wpływa temperatura, zawartość wody w glebie i aktywność mikroorganizmów glebowych, a tempo uwalniania zależy od grubości i jakości otoczek. Stosowanie mocznika otoczkowanego (o kontrolowanym działaniu) może przynieść wiele korzyści agrotechnicznych i środowiskowych, takich jak: wzrost efektywności nawożenia i wzrost wielkości plonów, obniżenie dawek, zmniejszenie nakładów pracy oraz ograniczenie strat azotu (12). Jednak redukcję emisji amoniaku z zastosowania tej praktyki wycenia się tylko na około 30% (7). Ponadto badania naukowe wskazują na trudności wdrażania tej praktyki związane z uszkodzeniami otoczek oraz wzrostem kosztów o około 10–15%.

Celem opracowania było oszacowanie emisji amoniaku z aktualnego zużycia mineralnych nawozów azotowych w skali regionalnej oraz przedstawienie projekcji emisji amoniaku, zastępując w strukturze zużycia mineralnych nawozów azotowych dotychczas stosowany tradycyjny mocznik mocznikiem z inhibitorem ureazy.

## Material i metodyka

Szacunki emisji amoniaku wykonano zgodnie z metodyką wykorzystywaną przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE) do inwentaryzacji zanieczyszczeń powietrza w Polsce. Emisja amoniaku szacowana jest według poziomu Tier 2 opracowanego na podstawie obowiązującej metodyki międzynarodowej zawartej w poradniku EMEP/EEA 2019 (2). W badaniach wykorzystano dane o zużyciu nawozów azotowych w Polsce według województw w 2019 r. pochodzące ze statystyki krajowej GUS (tab. 1) oraz stosowane przez KOBiZE krajowe wskaźniki emisji amoniaku dotyczące poszczególnych asortymentów nawozów (tab. 2). W Polsce jedynie 8% gleb użytkowanych rolniczo stanowią gleby zasadowe. Przyjęto zatem, że udział wskaźnika emisji dla gleb o odczynie pH > 7,0 wynosi 8%, a dla gleb z pH do 7,0 udział wskaźnika stanowi 92% (10).

Tabela 1

Zużycie nawozów mineralnych według województw w 2019 roku

Województwo	Zużycie (tys. ton N)
Dolnośląskie	76,0
Kujawsko-pomorskie	95,7
Lubelskie	101,4
Lubuskie	22,2
Łódzkie	65,9
Małopolskie	23,4
Mazowieckie	113,2
Opolskie	52,8
Podkarpackie	21,7
Podlaskie	58,1
Pomorskie	65,7
Śląskie	23,6
Świętokrzyskie	22,3
Warmińsko-mazurskie	54,2
Wielkopolskie	134,2
Zachodniopomorskie	63,8
Polska	994,1

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS, 2005–2019 (3)

Tabela 2

Struktura zużycia nawozów i krajowe wskaźniki emisji NH<sub>3</sub>

Typ nawozu	Struktura zużycia nawozów (%)	Wskaźniki (g NH <sub>3</sub> · kg <sup>-1</sup> N)		Wskaźniki emisji krajowe – (EMEP/EEA 2019) (g NH <sub>3</sub> · kg <sup>-1</sup> N)
		92%	8%	
		pH < 7,0	pH > 7,0	
Siarczan amonu	1	90	165	96,00
Mocznik	25	155	164	155,72
Saletra amonowa	45	15	32	16,36
Saletra wapniowa	16	8	17	8,72
Fosforan amonowy	1	50	91	53,28
Wieloskładnikowe (NK lub NPK)	8	15	32	16,36
RSM	4	98	95	97,76

Źródło: KOBiZE, 2021 (6)

Wykorzystując krajowe wskaźniki emisji amoniaku dla poszczególnych asortymentów nawozów, oszacowano w ujęciu regionalnym wielkość emisji amoniaku z uwzględnieniem w strukturze zużycia mineralnych nawozów azotowych typowego mocznika. W dalszych szacunkach, przyjmując założenie, że 100% stosowanego mocznika zostanie zastąpione mocznikiem z inhibitorem ureazy, zastosowano skorygowany wskaźnik emisji (pomniejszony o 70%). Oszacowane wielkości emisji amoniaku z uwzględnieniem typowego mocznika oraz mocznika z inhibitorem odnieszono do roku 2005.

Biorąc pod uwagę wytyczne dyrektywy NEC, a zwłaszcza wielkość redukcji emisji amoniaku po 2030 r., wykonano także projekcje wdrożenia tego działania w perspektywie 2025, 2030, 2035 i 2040 r. W szacunkach wykorzystano krajowe prognozy zmian aktywności w rolnictwie opracowywane przez instytuty naukowe i przekazywane do MRiRW, a następnie stosowane w obliczeniach KOBiZE (tab. 3).

Tabela 3

## Aktywności w rolnictwie dla lat prognozy

Wielkość charakterystyczna	j.m.	2020	2025	2030	2035	2040
Zużycie nawozów azotowych	tys. ton N	1153	1198	1230	1258	1286
Powierzchnia użytków rolnych	tys. ha	14254	13690	13725	13550	13375

Źródło: KOBiZE, 2021 (5), zmodyfikowane

## Wyniki badań i dyskusja

Głównym źródłem emisji amoniaku w Polsce jest rolnictwo. Według KOBiZE całkowita emisja amoniaku z sektora rolnictwa w 2019 r. wyniosła 300,58 Gg NH<sub>3</sub> (co stanowiło 95,0% emisji krajowej) i zmniejszyła się o 38,0% w stosunku do 1990 r. oraz o 5,7% w stosunku do 2005 r. (tab. 4). Należy także zwrócić uwagę na wzrost zużycia nawozów mineralnych w latach 2015–2018, co wpłynęło na stopniowy wzrost całkowitej emisji amoniaku z rolnictwa. Natomiast w porównaniu z rokiem poprzednim w 2019 roku zanotowano spadek wielkości emisji amoniaku o 3,8%. Największy wpływ na tę zmianę miało mniejsze o 15,7% zużycie nawozów mineralnych (tab. 5).

Tabela 4

Emisja amoniaku z rolnictwa w Polsce (Gg)

Emisja NH <sub>3</sub>	1990	2005	2010	2018	2019
Rolnictwo	484,49	318,60	297,46	312,48	300,58
Nawozy naturalne	238,31	155,68	130,37	137,33	137,26
Gleby rolne	246,09	162,85	167,08	175,13	163,29
Spalanie resztek roślinnych	0,08	0,07	0,02	0,02	0,04

Źródło: KOBiZE, 2021 (4)

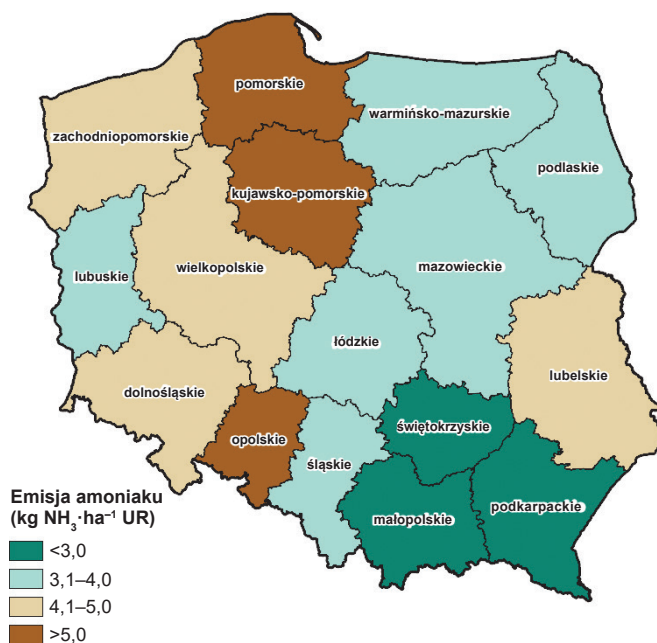
Tabela 5

Zużycie nawozów mineralnych w latach 2005–2019 w Polsce (kt N)

Rok	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Zużycie	895	996	1056	1142	1095	1028	1091	1095	1179	1098	1004	1043	1151	1179	994

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS, 2005–2019 (3)

Emisja amoniaku ze zużycia mineralnych nawozów azotowych w 2019 roku wyniosła 59,46 Gg, co w przeliczeniu na 1 ha UR w dobrej kulturze stanowiło 4,1 kg NH<sub>3</sub>. Intensywność gospodarowania mineralnymi nawozami azotowymi jest zróżnicowana regionalnie i waha się w zakresie 21,7 tys. t w województwie podkarpackim do 134,2 tys. t w regionie wielkopolskim (tab. 1). Wynika to ze zróżnicowanego poziomu organizacyjno-ekonomicznego i struktury obszarowej gospodarstw rolnych. Znaczące regionalne różnice w poziomie zużycia mineralnych nawozów azotowych wywierają istotny wpływ na zróżnicowanie wielkości emisji amoniaku w poszczególnych województwach. Największą emisją amoniaku w przeliczeniu na 1 ha UR w dobrej kulturze charakteryzowały się województwa: opolskie, kujawsko-pomorskie i pomorskie (rys. 1). Emisje amoniaku, oszacowane z uwzględnieniem mocznika w strukturze zużycia mineralnych nawozów azotowych, wyniosły odpowiednio: 6,1; 5,6 i 5,2 kg NH<sub>3</sub>·ha<sup>-1</sup> UR. Nieco mniejszą intensywnością emisji amoniaku charakteryzowały się województwa: dolnośląskie (4,9 kg NH<sub>3</sub>·ha<sup>-1</sup>), wielkopolskie (4,6 kg NH<sub>3</sub>·ha<sup>-1</sup>), zachodniopomorskie (4,5 kg NH<sub>3</sub>·ha<sup>-1</sup>) i lubelskie (4,2 kg NH<sub>3</sub>·ha<sup>-1</sup>).



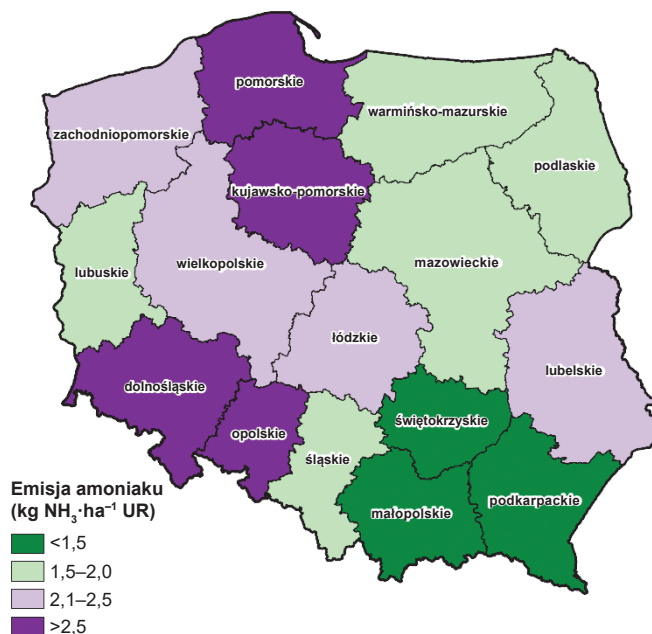
Rys. 1. Regionalne zróżnicowanie emisji amoniaku ze stosowania mineralnych nawozów azotowych (mocznik w strukturze zużycia)

Źródło: opracowanie własne

Emisje w zakresie 3,1–4,0 kg NH<sub>3</sub>·ha<sup>-1</sup> UR w dobrej kulturze stwierdzono w województwach: warmińsko-mazurskim, śląskim, lubelskim, lubuskim i mazowieckim. W pozostałych województwach emisja amoniaku wynosiła poniżej 3,0 kg NH<sub>3</sub>·ha<sup>-1</sup> UR w dobrej kulturze.

Wdrożenie działania polegającego na zastąpieniu w strukturze zużycia mineralnych nawozów azotowych typowego mocznika mocznikiem z inhibitorem znacznie obniżyło wielkość emisji amoniaku zarówno w skali kraju, jak i w poszczególnych regionach. Całkowita emisja amoniaku ze stosowania mineralnych nawozów azotowych wyniosła 29,92 Gg. W przeliczeniu na 1 ha UR w dobrej kulturze stanowiło to 2,1 kg NH<sub>3</sub>. Największą emisją amoniaku w przeliczeniu na 1 ha UR w dobrej kulturze wyróżniały się województwa: opolskie, kujawsko-pomorskie, pomorskie i dolnośląskie (rys. 2). Emisje amoniaku, oszacowane z uwzględnieniem mocznika z inhibitorem ureazy w strukturze zużycia mineralnych nawozów azotowych, wyniosły odpowiednio 3,1; 2,8; 2,6 i 2,6 kg NH<sub>3</sub>·ha<sup>-1</sup> UR. Stwierdzono więc redukcję emisji amoniaku w zakresie 2,2–2,8 kg NH<sub>3</sub>·ha<sup>-1</sup> UR. Emisją amoniaku w zakresie 2,1–2,5 kg NH<sub>3</sub>·ha<sup>-1</sup> UR charakteryzowały się województwa: lubelskie, łódzkie, wielkopolskie i zachodniopomorskie. Nieco mniejszą intensywność emisji zaobserwowano w województwach: warmińsko-mazurskim (1,8 kg NH<sub>3</sub>·ha<sup>-1</sup>), lubuskim i mazowieckim (1,7 kg NH<sub>3</sub>·ha<sup>-1</sup>) oraz podlaskim i śląskim (1,6 kg NH<sub>3</sub>·ha<sup>-1</sup>).

W pozostałych rejonach oszacowane emisje osiągały wartości poniżej  $1,5 \text{ kg NH}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$  UR w dobrej kulturze.



Rys. 2. Regionalne zróżnicowanie emisji amoniaku ze stosowania mineralnych nawozów azotowych (mocznik z inhibitorem w strukturze zużycia)

Źródło: opracowanie własne

Wprowadzony od sierpnia 2021 r. zakaz stosowania tradycyjnego mocznika i zastąpienie go mocznikiem z inhibitorem ureazy może skutkować znacznym ograniczeniem emisji amoniaku. Przeprowadzona projekcja wdrożenia takiego rozwiązania dla 2019 r. wykazała redukcję emisji amoniaku o 29,5 Gg, tj. ponad 49%. Oszacowane wielkości emisji amoniaku odniesiono także do roku 2005, dla którego całkowita wielkość emisji NH<sub>3</sub> ze zużycia mineralnych nawozów azotowych wynosiła 53,57 Gg. Obliczona emisja amoniaku w 2019 r. była o 5,89 Gg, tj. 11,0% wyższa w porównaniu z emisją NH<sub>3</sub> w 2005 r. (tab. 6). Natomiast stosowanie mocznika z inhibitorem ureazy mogłoby zredukować emisję amoniaku w stosunku do 2005 r. ponad 44%.

Tabela 6

Zmiana emisji amoniaku z nawozów mineralnych w latach 2005–2019

Działanie	(Gg)	(%)
Bez działań redukcyjnych	5,89	11,0
Mocznik stosowany z inhibitorem ureazy	-23,65	-44,1

Źródło: opracowanie własne



Zgodnie ze wskazaniem zawartym w dyrektywie NEC od 2030 r. ograniczenie emisji amoniaku w kraju powinno wynosić 17% dla każdego roku w stosunku do roku 2005. Przeprowadzona projekcja wykazała, że zakaz stosowania typowego mocznika i propozycja zastąpienia go mocznikiem z inhibitorem ureazy może skutkować istotnym ograniczeniem emisji  $\text{NH}_3$ . Nie oznacza to jednak, że wymagania dotyczące poziomu redukcji 17% emisji amoniaku z sektora rolnego dla każdego roku od 2030 r. w porównaniu z 2005 r. zostaną spełnione. Duży wpływ na wielkość emisji amoniaku ma także produkcja zwierzęca.

Przegląd krajowych danych statystycznych wskazuje, że ciągle występują zmiany w poziomie zużycia mineralnych nawozów azotowych. Od przystąpienia Polski do UE, czyli od 2004 r. obserwujemy (z nielicznymi wyjątkami) stopniowy wzrost zużycia nawozów mineralnych. Według prognozy na lata 2020–2040 zużycie mineralnych nawozów azotowych będzie rosło przy jednoczesnym spadku areału użytków rolnych (tab. 3). Skutkiem tych przemian będą zmiany w wielkości emisji amoniaku. Według prognozy KOBiZE całkowita emisja  $\text{NH}_3$  z sektora rolnego w latach 2025, 2030, 2035 i 2040 wyniesie odpowiednio: 304,64; 310,34; 314,84 i 320,11 Gg (5). Szacunki te obejmują emisje amoniaku z nawozów naturalnych, gleb rolnych oraz spalania resztek poźniwnych. Pomimo iż w szacunkach tych uwzględniono jedną z praktyk wpływających na ograniczenie emisji, a mianowicie przykrycie wszystkich zbiorników z gnojowicą i gnojówką, to wskazane prognozy szacunków nie są wystarczające do osiągnięcia celu redukcyjnego –17% w stosunku do roku 2005. Jednocześnie w wyżej wymienionych szacunkach nie uwzględniono żadnych działań ograniczających emisję amoniaku ze zużycia mineralnych nawozów azotowych. Jedną z takich praktyk jest wprowadzony od 1 sierpnia 2021 r. zakaz stosowania typowego mocznika, który charakteryzuje się najwyższym współczynnikiem emisji amoniaku. Dlatego też wykonano prognozy emisji  $\text{NH}_3$  dla lat 2025, 2030, 2035 i 2040 ze stosowania mineralnych nawozów azotowych. Oszacowano dwa scenariusze emisji amoniaku, z uwzględnieniem mocznika w strukturze zużycia oraz zastąpienie go mocznikiem z inhibitorem ureazy. Wprawdzie udział emisji ze zużycia nawozów mineralnych w całkowitej emisji z rolnictwa wynosi tylko około 20% (2019 r.), to jednak istotna redukcja ze stosowania nawozów mineralnych może znacząco obniżyć całkowitą wielkość emisji  $\text{NH}_3$ .

Przeprowadzona dla wybranych lat projekcja emisji amoniaku ze zużycia mineralnych nawozów azotowych wykazała stopniowy wzrost emisji  $\text{NH}_3$  (tab. 7). Oszacowana emisja amoniaku z mineralnych nawozów azotowych z uwzględnieniem tradycyjnego mocznika w strukturze zużycia mieściła się w zakresie od 71,66 Gg w 2025 r. do 76,93 Gg w 2040 r. Natomiast wdrożenie działania polegającego na zastąpieniu typowego mocznika mocznikiem z inhibitorem ureazy wpłynęło na redukcję emisji amoniaku o 49,8%. Oszacowana emisja  $\text{NH}_3$  wyniosła 35,95 Gg w 2025 r. i wzrosła do 38,59 Gg w 2040 r. (tab. 7). Całkowita oszacowana emisja amoniaku z sektora rolnego dla prognozowanych lat mieściła się w przedziale 268,93–281,77 Gg i uległa redukcji o około 12%. Uwzględnienie działania redukcyj-

nego (mocznik z inhibitorem ureazy) pozwoliło uzyskać ograniczenie całkowitej emisji amoniaku o 14,1% w latach 2005–2030. Należy jednak zwrócić uwagę na stopniowy dalszy wzrost emisji w następnych latach i w perspektywie 2040 r. wielkość redukcji emisji  $\text{NH}_3$  w porównaniu z 2005 r. zmaleje i wyniesie 11,6%.

Tabela 7

Projekcja emisji amoniaku na lata 2025–2040

Działanie	2025	2030	2035	2040
Zużycie nawozów mineralnych	1198	1230	1258	1286
Całkowita emisja $\text{NH}_3$ z rolnictwa (Gg)	304,64	310,34	314,84	320,11
Emisja $\text{NH}_3$ z nawozów mineralnych (w strukturze zużycia – mocznik) (Gg)	71,66	73,58	75,25	76,93
Emisja $\text{NH}_3$ z nawozów mineralnych (w strukturze zużycia – mocznik z inhibitorem urazy) (Gg)	35,95	36,91	37,75	38,59
Różnica emisji $\text{NH}_3$ z nawozów mineralnych (Gg)	35,71	36,67	37,50	38,34
Całkowita emisja $\text{NH}_3$ z wdrożonym działaniem (Gg)	268,93	273,67	277,34	281,77

Źródło: opracowanie własne

### Podsumowanie

Spełnienie wymogów określonych w dyrektywie NEC w zakresie emisji amoniaku z sektora rolnego i osiągnięcie wskazanego celu redukcyjnego –17% w 2030 r. w stosunku do roku 2005 nie jest łatwe. Wprowadzony od 1 sierpnia 2021 r. zakaz stosowania tradycyjnego mocznika i obowiązek zastąpienia go mocznikiem z inhibitorem ureazy lub otoczkowanego powłoką biodegradowalną może znacząco zredukować emisję  $\text{NH}_3$  ze stosowania mineralnych nawozów azotowych. Wdrożenie zaproponowanego rozwiązania będzie miało duży wpływ na budżet gospodarstw rolniczych. Mocznik z inhibitorem ureazy jest droższy od typowego mocznika granulowanego. Uważa się jednak, że znacznie większe będą korzyści z ograniczenia strat azotu i emisji amoniaku niż zaniechanie działania ze względu na koszty środków produkcji.

Szacunki wykonane dla 2019 r. z uwzględnieniem zaproponowanej zamiany mocznika wykazały redukcję emisji amoniaku o ponad 49% w porównaniu z szacunkami wykonanymi dla typowego mocznika. Pomimo tak znaczącej redukcji emisji z nawozów mineralnych oszacowana całkowita emisja  $\text{NH}_3$  z rolnictwa została zredukowana o 14,9% w porównaniu z 2005 r.

Przeprowadzona analiza wykazała także znaczne regionalne zróżnicowanie emisji amoniaku ze stosowania mineralnych nawozów azotowych. Największymi emisjami  $\text{NH}_3$  w przeliczeniu na ha UR w dobrej kulturze charakteryzowały się województwa: opolskie, kujawsko-pomorskie, pomorskie i dolnośląskie. Tak więc, w tych regionach należy zwrócić szczególną uwagę na racjonalne stosowanie nawozów azotowych.

Również projekcja wykonana do 2040 r. wskazuje na istotne ograniczenie emisji amoniaku, jednak niewystarczające do osiągnięcia celu redukcyjnego. Dlatego też

rekomenduje się wdrażanie praktyk rolniczych wpisujących się we Wspólną Politykę Rolną i przyczyniających się do ograniczenia emisji amoniaku.

### Literatura

1. Directive (EU) 2016/2284 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2016 on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants, amending Directive 2003/35/EC and repealing Directive 2001/81/EC. Official Journal of the European Union, L 344/1, 17.12.2016.
2. EMEP/EEA: EMEP/EEA emission inventory guidebook 2019. Copenhagen: European Environment Agency, 2019.
3. GUS: Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2005.... 2018/2019. GUS, Warszawa 2005–2019.
4. KOBiZE: Krajowy bilans emisji SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 1990–2019. Warszawa: IOŚ-PIB, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, 2021.
5. KOBiZE: Projekcje emisji wybranych zanieczyszczeń do powietrza do roku 2040. Warszawa: IOŚ-PIB, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, 2021.
6. KOBiZE: Poland's Informative Inventory Report 2021. Warszawa: IOŚ-PIB, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, 2021.
7. Kodeks doradczy dobrej praktyki rolniczej dotyczący ograniczania emisji amoniaku. MRiRW, Warszawa, 2020.
8. Komisja Europejska: Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Europejski Zielony Ład. COM(2019) 640 final, 2019.
9. Marcinkowski T., Kierończyk M.: Efektywność inhibitora ureazy NBPT w ograniczaniu emisji amoniaku z mocznika i roztworów saletrano-mocznikowych (RSM) stosowanych w mineralnym żywieniu roślin. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, 2015, t. XXXII, 62(3/1/15): 271-279.
10. M o c e k A. (red.): Gleboznawstwo. Wyd. I. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2014, s. 201-205.
11. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 grudnia 2020 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o nawozach i nawożeniu. Dz.U. 2021 poz.76.
12. Wałczak J., Jarosz Z., Jugowar J.L., Krawczyk W., Mielcarek P., Skowrońska M.: Wdrażanie dyrektywy NEC oraz konkluzji BAT w zakresie redukcji emisji amoniaku z rolnictwa. FDPA, Wydawnictwo Naukowe SCHOLAR, Warszawa, 2019.

Adres do korespondencji:

*dr Zuzanna Jarosz; prof. dr hab. Antoni Faber*  
*Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy*  
*tel.: 81 4786 766; 81 4786 767*  
*e-mail: zjarosz@iung.pulawy.pl; faber@iung.pulawy.pl*

AUTOR

Zuzanna Jarosz

Antoni Faber

ORCID

0000-0002-3428-5804

0000-0002-3055-1968

Zuzanna Jarosz, Antoni Faber

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy  
w Puławach*

REGIONALNE ZRÓŻNICOWANIE I PROJEKCJA EMISJI AMONIAKU  
Z GOSPODAROWANIA NAWOZAMI NATURALNYMI\*

**Słowa kluczowe:** emisja amoniaku, nawozy naturalne, regiony, zróżnicowanie, projekcja

---

**Wstęp**

Głównym celem rolnictwa jest zaspakajanie potrzeb żywnościowych. Realizacja celu wymaga uzyskiwania wysokich, dobrej jakości plonów i możliwa jest dzięki stosowaniu nawozów naturalnych, organicznych i mineralnych. W obliczu nowych wyzwań, takich jak: ograniczanie emisji gazów cieplarnianych, przeciwdziałanie zmianom klimatu i ochrona środowiska naturalnego, racjonalne gospodarowanie środkami produkcji ma istotne znaczenie (10).

Do ochrony środowiska (powietrza) obliuguje nas także wprowadzenie w grudniu 2016 r. dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej 2016/2284 (tzw. NEC) w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń atmosferycznych, zmiany dyrektywy 2003/35/WE oraz uchylecia dyrektywy 2001/81/WE (1). Dyrektywa ta nakłada obowiązek monitorowania i kontroli zanieczyszczeń powietrza, w tym amoniaku oraz ograniczania ich negatywnego wpływu na środowisko (1). W przypadku amoniaku Polska zobowiązana jest ograniczyć jego emisję w każdym roku o 17% po roku 2030 w porównaniu z rokiem 2005.

Według Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE) głównym źródłem (około 95%) emisji amoniaku jest rolnictwo, w którym 80% jest związane z produkcją zwierzęcą, a pozostałe 20% emisji jest wynikiem zużycia mineralnych nawozów azotowych (7).

---

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 8.0 pt. „Identyfikacja i opracowanie nowych krajowych wskaźników jednostkowych oraz zrównoważonych metod produkcji dla celów ochrony środowiska i przeciwdziałania zmianom klimatu w rolnictwie” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2022 r.

Z jednej strony nawozy naturalne stanowią bardzo cenny w składniki pokarmowe produkt uboczny z chowu zwierząt, a ich stosowanie przyczynia się do żyzności gleb i produktywności roślin. Z drugiej zaś strony azot zawarty w odchodach może wywierać negatywne skutki środowiskowe (skażenie wód gruntowych i powierzchniowych – azotanami, zanieczyszczenie powietrza – emisją amoniaku). Zrównoważone gospodarowanie nawozami jest bardzo ważne. Racjonalne gospodarowanie nawozami naturalnymi to nie tylko ich stosowanie w dawce odpowiadającej potrzebom roślin i właściwe terminy ich stosowania, ale także prawidłowe przechowywanie i techniki aplikacji nawozów naturalnych. Na każdym etapie produkcji (wytwarzania, składowania, stosowania) może dochodzić do strat składników pokarmowych, zwłaszcza azotu. Straty tego pierwiastka z przechowywania nawozów naturalnych szacuje się na 20–50%, a z ich aplikacji na gruntach rolnych na 20–30% (13).

Stosowanie i przechowywanie nawozów naturalnych reguluje Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lutego 2020 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (14). Natomiast w celu ograniczania emisji amoniaku zaleca się wdrażanie praktyk szczegółowo opisanych w „Kodeksie doradczym dobrej praktyki rolniczej dotyczącym ograniczania emisji amoniaku” (9).

Celem opracowania było oszacowanie regionalnego zróżnicowania aktualnego stanu emisji amoniaku z gospodarowania nawozami naturalnymi oraz przedstawienie projekcji emisji na lata 2025–2040 i weryfikacji możliwości spełnienia zobowiązań wynikających z dyrektywy NEC.

### **Material i metodyka**

Szacunki emisji amoniaku z gospodarowania nawozami naturalnymi wykonano zgodnie z metodyką stosowaną przez KOBiZE wykonujący bilanse emisji zanieczyszczeń powietrza w Polsce. Emisje amoniaku oszacowano za pomocą narzędzia Manure Management N-flow Tool 2020 opracowanego na podstawie metody Tier 2 (podejście przepływu całkowitego azotu amonowego – Total Ammonical Nitrogen) opublikowanej w EMEP/EEA EIG 2019 (2). W badaniach wykorzystano dane o pogłowie zwierząt gospodarskich według województw w 2019 r. pochodzące ze statystyki krajowej GUS (tab. 1). Z powodu braku danych o systemach utrzymania zwierząt w skali regionalnej przyjęto stosowane przez KOBiZE krajowe wskaźniki dotyczące udziału poszczególnych systemów gospodarowania odchodami zwierząt (tab. 2).

Tabela 1

Stan pogłowia zwierząt gospodarskich według województw w 2019 roku

Województwo	Stan pogłowia (tys. szt.)						
	krowy	bydło pozost.	świnie	owce	nioski	brojlery	drób pozost.
Dolnośląskie	43	64	186	12	2897	3515	733
Kujawsko-pomorskie	169	351	1064	8	2014	10234	943
Lubelskie	142	247	427	18	2049	6174	2059
Lubuskie	32	51	133	6	1652	3499	2293
Łódzkie	189	299	1119	14	3510	9835	1826
Małopolskie	81	88	125	79	3228	2031	337
Mazowieckie	559	651	1112	8	8815	25764	2938
Opolskie	42	81	310	2	738	4090	150
Podkarpackie	39	34	129	18	2185	3229	384
Podlaskie	457	569	320	30	1776	12308	1517
Pomorskie	72	146	772	15	1904	4595	422
Śląskie	47	79	199	11	2079	6358	329
Świętokrzyskie	53	104	181	6	1503	4913	619
Warmińsko-mazurskie	200	270	536	14	948	3832	5293
Wielkopolskie	294	737	3916	23	17851	17572	7107
Zachodniopomorskie	42	64	252	8	1480	10544	292
Polska	2461	3836	10781	273	54628	128493	27243

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (5)

Tabela 2

System utrzymania zwierząt

Zwierzęta	System utrzymania	% pogłowia
Krowy mleczne	bezściółowo	10,5
	ściółowo	79,2
	pastwisko	10,3
Bydło pozostałe	bezściółowo	5,1
	ściółowo	82,9
	pastwisko	12,0
Świnie	bezściółowo	24,3
	ściółowo	75,7
	pastwisko	0,0
Owce	bezściółowo	0,0
	ściółowo	59,5
	pastwisko	40,5
Drób	bezściółowo	11,1
	ściółowo	88,9
	pastwisko	0,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych KOBiZE (8)

Emisje amoniaku szacowane są na podstawie ilości azotu wydalanego (Nex) przez każdą kategorię zwierząt oraz współczynników emisji na każdym etapie gospodarowania nawozami naturalnymi (w pomieszczeniach inwentarskich, podczas przechowywania, przetwarzania i aplikacji, a także wydalania przez zwierzęta podczas wypasu). Parametry i wskaźniki wykorzystywane w szacunkach, takie jak azot zawarty w materiale ściółkowym lub współczynniki  $\text{NH}_3$  związane z określonymi systemami gospodarowania nawozami, pochodzą z raportu KOBiZE (8). W obliczeniach emisji amoniaku z nawozów naturalnych uwzględniono działania wpływające na ograniczenie emisji, które zostały wprowadzone po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej w 2004 roku (np. przykrycie obornika podczas przechowywania lub wielofazowe żywienie). Ponadto włączono działania redukujące emisję amoniaku z przykrywania zbiorników na płynne nawozy naturalne. Obowiązek stosowania pokryw stałych na zbiornikach na gnojówkę i gnojowicę został wprowadzony Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 12 lutego 2020 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu ograniczenie zanieczyszczenia azotanami pochodzenia rolniczego i zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (14). Szczegółowe informacje dotyczące możliwości ograniczenia emisji amoniaku oraz działań i ich potencjałów redukcyjnych zostały zaprezentowane w „Kodeksie doradczym dobrej praktyki rolniczej dotyczącym ograniczania emisji amoniaku” opracowanym na potrzeby wdrażania dyrektywy NEC (9).

W celu weryfikacji, czy oszacowane wielkości emisji amoniaku z aktualnie wprowadzonymi działaniami redukcyjnymi są wystarczające do osiągnięcia celu redukcyjnego –17% w 2030 r. w stosunku do 2005 r., wykonano projekcje emisji na lata 2025–2040. Podstawą do przeprowadzenia szacunków były stosowane w obliczeniach KOBiZE krajowe prognozy zmian pogłowia zwierząt gospodarskich (tab. 3).

Tabela 3

Pogłowie zwierząt gospodarskich dla lat prognozy

Wielkość charakterystyczna	j.m.	2020	2025	2030	2035	2040
Pogłowie bydła	tys. szt.	6140	6208	6200	6173	6203
w tym bydła mlecznego	tys. szt.	2333	2257	2168	2123	2090
Pogłowie owiec i kóz	tys. szt.	259	227	195	167	147
Pogłowie koni	tys. szt.	162	152	143	128	117
Pogłowie trzody chlewnej	tys. szt.	11452	11467	11542	11400	11217
Pogłowie drobiu	mln szt.	250	271	291	321	351
w tym drobiu kurzego	mln szt.	230	250	270	300	330

Źródło: KOBiZE, 2021 (8), zmodyfikowane

Zachowanie spójności całej serii danych wymaga przeprowadzenia tzw. rekalkulacji trendów wynikających z aktualizacji metodyki. Emisje amoniaku dla lat prognozy oszacowano, stosując jednolitą metodykę dla całego szeregu czasowego obejmującego lata 2005–2019 i prognozowane 2025–2040.

## Wyniki badań i dyskusja

Całkowita emisja amoniaku z rolnictwa w Polsce w 2019 r. wyniosła 300,58 Gg, w tym 137,26 Gg, tj. około 46% stanowiła emisja z nawozów naturalnych (tab. 4). W porównaniu z 2005 r. emisja ta uległa ograniczeniu o 11,8%. Redukcja emisji związana jest przede wszystkim ze zmianami w pogłowie zwierząt gospodarskich. Analizując dane statystyczne dotyczące pogłowa zwierząt gospodarskich w latach 2005–2019, możemy stwierdzić niewielki wzrost pogłowa bydła (5). Jednocześnie wraz ze wzrostem wydajności mlecznej krów obserwujemy spadek ich pogłowa. Podobnie jest w przypadku trzody chlewnej. Rygory sanitarne związane z afrykańskim pomorem świń oraz wzrost wymagań jakościowych i ilościowych stawianych odbiorcom skupującym żywiec wieprzowy wpłynęły na znaczny spadek pogłowa świń. Natomiast istotnie wzrósł chów drobiu, zwłaszcza broilerów.

Tabela 4

Emisja amoniaku z rolnictwa w Polsce w wybranych latach (Gg)

Emisja NH <sub>3</sub>	2005	2010	2018	2019
Rolnictwo	318,60	297,46	312,48	300,58
Nawozy naturalne	155,68	130,37	137,33	137,26
Gleby rolne	162,85	167,08	175,13	163,29
Spalanie resztek roślinnych	0,07	0,02	0,02	0,04

Źródło: KOBiZE, 2021 (8)

Przeprowadzona analiza wykazała istotne różnice emisji amoniaku z gospodarowania nawozami naturalnymi w poszczególnych regionach, co wynika z przestrzennego zróżnicowania chowu zwierząt gospodarskich. W całkowitej emisji NH<sub>3</sub> prym wiodą województwa wielkopolskie i mazowieckie (rys. 1). Oszacowane emisje wyniosły odpowiednio: 29,98 i 22,78 Gg NH<sub>3</sub>. Nieco mniejszą intensywność emisji w zakresie 10,18–14,55 Gg stwierdzono w województwach: podlaskim, łódzkim, warmińsko-mazurskim i kujawsko-pomorskim. W województwach pomorskim i lubelskim oszacowane emisje NH<sub>3</sub> wyniosły odpowiednio: 5,47 i 7,56 Gg. W pozostałych regionach wielkość emisji NH<sub>3</sub> nie przekraczała 5,00 Gg.

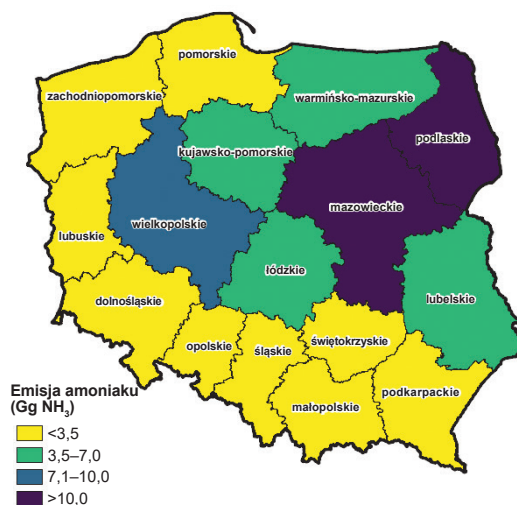
Na wielkości tych emisji niewątpliwym wpływ miał udział różnych kategorii zwierząt gospodarskich. W całkowitej emisji amoniaku z gospodarowania nawozami naturalnymi największy udział miała produkcja bydła skoncentrowana w województwach: mazowieckim, podlaskim i wielkopolskim (rys. 2). Oszacowane wielkości emisji NH<sub>3</sub> wyniosły odpowiednio: 12,63; 10,55 i 9,00 Gg.





Rys. 1. Regionalne zróżnicowanie emisji amoniaku z nawozów naturalnych

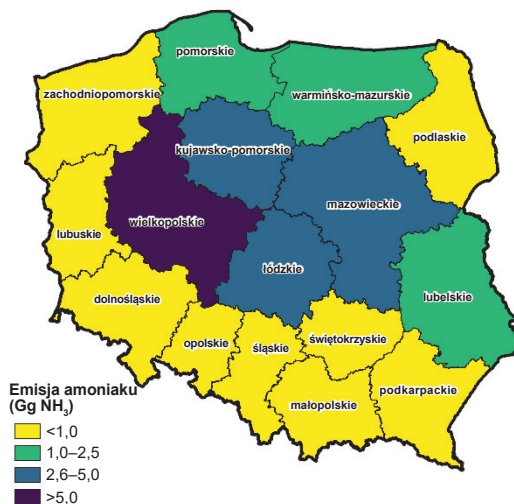
Źródło: opracowanie własne



Rys. 2. Regionalne zróżnicowanie emisji amoniaku z produkcji bydła

Źródło: opracowanie własne

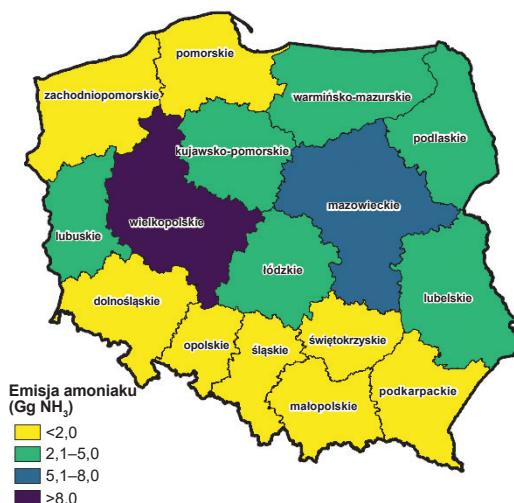
Największą emisją amoniaku z produkcji trzody chlewnej wyróżniał się rejon wielkopolski (rys. 3). Emisjami w zakresie 2,6–5,0 Gg NH<sub>3</sub> charakteryzowały się województwa: kujawsko-pomorskie, mazowieckie i łódzkie. W pozostałych województwach wielkość emisji z tego źródła nie przekroczyła progu 2,5 Gg NH<sub>3</sub>, a w wielu rejonach była niższa niż 1,0 Gg.



Rys. 3. Regionalne zróżnicowanie emisji amoniaku z produkcji trzody chlewnej

Źródło: opracowanie własne

Natomiast największą intensywnością emisji amoniaku z produkcji drobiu charakteryzowało się województwo wielkopolskie (rys. 4). Nieco mniejszą emisję stwierdzono w rejonie mazowieckim (6,73 Gg NH<sub>3</sub>).



Rys. 4. Regionalne zróżnicowanie emisji amoniaku z produkcji drobiu

Źródło: opracowanie własne

Przedstawione wyniki obrazują widoczny proces koncentracji i specjalizacji produkcji zwierzęcej, co przyczynia się do poprawy efektywności gospodarowania. W tych rejonach należy też zwrócić szczególną uwagę na wdrażanie odpowiednich (w zależności od kierunku produkcji) praktyk przyczyniających się do redukcji emisji amoniaku. Z drugiej zaś strony w województwach z ograniczoną produkcją zwierzęcą utrzymanie produktywności i żyzności gleb skłania do większego zużycia nawozów mineralnych.

Jak wspomniano, do przeprowadzenia projekcji emisji amoniaku z nawozów naturalnych na lata 2025–2040 wykorzystano krajowe prognozy zmian pogłowia zwierząt gospodarskich (tab. 3). Przewiduje się, że pogłowiu bydła ogółem pozostanie na zbliżonym poziomie. Natomiast szacuje się spadek w chowie krów mlecznych. Na podobnym poziomie pozostanie produkcja trzody chlewnej. Spodziewany jest też duży wzrost pogłowia drobiu wynikający z relacji cenowych pomiędzy drobiem a pozostałym żywcem.

Przeprowadzona dla wybranych lat projekcja emisji amoniaku z nawozów naturalnych wskazuje na stopniowy wzrost emisji w analizowanym okresie (tab. 5). Emisja  $\text{NH}_3$  z produkcji bydła waha się w przedziale 55,84–55,27 Gg. Niewielki wzrost pogłowia trzody chlewnej do roku 2030, a w następnych latach spadek pogłowia znajduje odbicie w niewielkim wzroście emisji z tego źródła wynoszącym 31,20 Gg  $\text{NH}_3$  (2030 r.) i redukcją do poziomu 30,32 Gg  $\text{NH}_3$  w 2040 r. Natomiast wzrost pogłowia drobiu skutkuje stopniowym wzrostem emisji amoniaku w poszczególnych latach.

Tabela 5

Projekcja emisji amoniaku na lata 2025–2040

Źródło emisji	2025	2030	2035	2040
Całkowita emisja $\text{NH}_3$ z rolnictwa (Gg)	304,64	310,34	314,84	320,11
Emisja $\text{NH}_3$ z nawozów naturalnych (Gg)	114,81	116,69	118,06	119,73
Emisja $\text{NH}_3$ z produkcji bydła (Gg)	55,84	56,00	55,52	55,27
Emisja $\text{NH}_3$ z produkcji trzody chlewnej (Gg)	30,96	31,20	30,88	30,32
Emisja $\text{NH}_3$ z produkcji drobiu (Gg)	27,20	28,77	31,02	33,55
Emisja $\text{NH}_3$ z produkcji pozostałych zwierząt gospodarskich (Gg)	0,81	0,72	0,64	0,59

Źródło: opracowanie własne

Prognozowana całkowita emisja  $\text{NH}_3$  z rolnictwa w 2030 r. wyniesie 310,34 Gg  $\text{NH}_3$  i będzie o 3,2% wyższa w porównaniu z 2019 r. i o 2,5% wyższa w stosunku do 2005 r. Źródłem tej emisji jest emisja amoniaku z nawozów naturalnych, gleb rolnych (w tym z nawozów mineralnych) oraz spalanie resztek poźniwnych (znaczenie marginalne). Emisja  $\text{NH}_3$  z drugiego źródła, jakim jest stosowanie mineralnych nawozów azotowych, systematycznie wzrasta, a dopiero łączne zużycie azotu z nawozów mine-

ralnych i naturalnych kształtuje wielkość emisji i może wywierać negatywne skutki środowiskowe (6, 11). Dlatego istotną kwestią jest monitorowanie intensywności emisji amoniaku i wdrażanie działań ograniczających.

Z całego katalogu działań dotyczących nawozów naturalnych przyczyniających się do redukcji emisji amoniaku na szczególną uwagę zasługuje przyorywanie obornika w ciągu 12 godzin od wywiezienia na pole oraz rozlewanie gnojowicy innymi metodami niż rozbryzgowo. Praktyki te zostały wskazane w Krajowym Programie Ograniczania Zanieczyszczeń Powietrza (KPOZP) opracowanym w 2019 r. przez Ministerstwo Klimatu, a ich wdrożenie przewidziane jest najpóźniej do 2030 r. (15).

Czas przebywania nawozów naturalnych na powierzchni pola i kontaktu z powietrzem istotnie wpływa na wielkość emisji amoniaku. Szacuje się, że wymieszanie nawozu z glebą w ciągu 12 godzin redukuje emisję  $\text{NH}_3$  o 50%. W przypadku aplikowania płynnych nawozów naturalnych zaleca się stosowanie iniekcji doglebowej płytkiej lub głębokiej. Płytką doglebową aplikacją gnojowicy ogranicza emisję amoniaku o 70–80%. Natomiast aplikacja doglebową głęboką skutkuje jej ograniczeniem o 90%. W roku gospodarczym 2015/2016 metodę tę stosowało odpowiednio: 5 tys. i 900 gospodarstw (12). Drugą metodą jest aplikacja naglebowa z wykorzystaniem wozów asenizacyjnych z odpowiednimi przystawkami (węże wleczone lub redlice). Ze względu na niższe koszty zabiegów technikę aplikacji z wykorzystaniem węży wleczonych stosowało 6 tys., a z zastosowaniem redlic 1,2 tys. gospodarstw (12). Również badania własne potwierdziły tezę, że wielkość emisji amoniaku zależy od stosowanej dawki gnojowicy, czynników środowiskowych i techniki aplikacji (3, 4).

Uwzględnienie rekomendowanych praktyk w projekcjach emisji amoniaku spowodowało redukcję całkowitej jego emisji z rolnictwa do poziomu 250,35 Gg w 2030 r. (tab. 6) i była ona o 17,3% niższa w stosunku do roku 2005. Przeprowadzona analiza wskazuje także możliwości ograniczenia emisji amoniaku z nawozów naturalnych w zakresie 16,0–16,8% w latach 2030–2040.

Tabela 6

Projekcja emisji amoniaku na lata 2025–2040 z wdrożonymi działaniami

Źródło emisji	2025	2030	2035	2040
Całkowita emisja $\text{NH}_3$ z rolnictwa (Gg)	304,64	250,35	254,95	260,12
Emisja $\text{NH}_3$ z nawozów naturalnych (Gg)	114,81	97,11	98,71	100,54
Emisja $\text{NH}_3$ z produkcji bydła (Gg)	55,84	43,51	43,10	42,96
Emisja $\text{NH}_3$ z produkcji trzody chlewnej (Gg)	30,96	24,27	24,11	23,59
Emisja $\text{NH}_3$ z produkcji drobiu (Gg)	27,20	28,77	31,02	33,55
Emisja $\text{NH}_3$ z produkcji pozostałych zwierząt gospodarskich (Gg)	0,81	0,56	0,48	0,44

Źródło: opracowanie własne

## Podsumowanie

W trosce o środowisko podejmowane są działania przyczyniające się do ograniczenia negatywnego wpływu rolnictwa na środowisko naturalne. Jednym z kierunków aktywności jest racjonalne gospodarowanie nawozami naturalnymi, które ma istotne znaczenie w redukcji emisji amoniaku oraz innych zanieczyszczeń środowiskowych (azotany) do atmosfery. Szacunki wykonane dla 2019 r. wykazały, że całkowita emisja amoniaku z nawozów naturalnych wyniosła 137,26 Gg i była o 11,8% niższa w stosunku do 2005 r. Przeprowadzona analiza pokazała także przestrzenne różnice emisji  $\text{NH}_3$  wynikające z regionalnego zróżnicowania chowu zwierząt gospodarskich. Największą intensywnością emisji amoniaku charakteryzowały się województwa wielkopolskie i mazowieckie. W rejonie wielkopolskim największy udział w całkowitej emisji  $\text{NH}_3$  z nawozów naturalnych miała emisja z produkcji trzody chlewnej, drobiu i bydła. Natomiast w województwie mazowieckim na całkowitą wielkość emisji amoniaku wpłynęła produkcja bydła i drobiu.

Projekcja emisji amoniaku z sektora rolnego w 2030 r. wyniosła 310,34 Gg i była wyższa o 2,5% w porównaniu z rokiem bazowym. Niewątpliwym wpływ miała tu także emisja amoniaku z drugiego źródła, jakim są gleby rolne, w tym zużycie mineralnych nawozów azotowych. Natomiast wdrożenie rekomendowanych działań pozwoliło na redukcję emisji  $\text{NH}_3$  o 17,3%. Należy jednak zwrócić uwagę na stopniowy wzrost całkowitej emisji amoniaku z rolnictwa, w tym z gospodarowania nawozami naturalnymi w dalszej perspektywie (lata po 2030 r.). Dlatego tak istotne jest podejmowanie aktywności redukujących emisję amoniaku z sektora rolnego bez względu na źródła emisji.

## Literatura

1. Directive (EU) 2016/2284 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2016 on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants, amending Directive 2003/35/EC and repealing Directive 2001/81/EC. Official Journal of the European Union, L 344/1, 17.12.2016.
2. EMEP/EEA: EMEP/EEA emission inventory guidebook 2019. Copenhagen: European Environment Agency, 2019.
3. Faber A., Jarosz Z.: Regionalne zróżnicowanie emisji amoniaku w zależności od praktyk aplikacji gnojowicy. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2019, 59(13): 29-40.
4. Faber A., Jarosz Z., Żyłowski T.: Weryfikacja możliwości redukcji emisji amoniaku dla różnych praktyk aplikacji gnojowicy w Polsce. *Problemy Rolnictwa Światowego*, 2019, 19(2):31-40.
5. GUS: Zwierzęta gospodarskie 2005... 2019. GUS, Warszawa 2005–2019.
6. Jarosz Z., Faber A.: Projekcja regionalnego zróżnicowania emisji amoniaku ze zużycia mineralnych nawozów azotowych. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2022, 67(21): 121-130.
7. KOBiZE: Krajowy bilans emisji  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , CO,  $\text{NH}_3$ , NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 1990–2019. Warszawa: IOŚ-PIB, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, 2021.

8. KOBiZE: Poland's Informative Inventory Report 2021. Warszawa: IOŚ-PIB, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, 2021.
  9. Kodeks doradczy dobrej praktyki rolniczej dotyczący ograniczania emisji amoniaku. MRiRW, Warszawa 2020.
  10. Komisja Europejska: Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Europejski Zielony Ład. COM(2019) 640 final, 2019.
  11. K o p i ń s k i J.: Zróżnicowanie gospodarki nawozowej azotem w polskim rolnictwie. Polish Journal of Agronomy, 2018, 32: 3-16.
  12. Ł ą c z y ń s k i A., Z i ó ł k o w s k a E.: Działania departamentu rolnictwa w zakresie prowadzonych badań. W: Krajowe wyniki prac badawczych oraz działań szacowania oddziaływań w zakresie ochrony środowiska i zmian klimatu w sektorze rolnictwa, J. Walczak, W. Krawczyk (red. nauk.). Monografia. IZ PIB, Kraków, 2017, ss. 118-144.
  13. P i e t r z a k S.: Metoda inwentaryzacji emisji amoniaku ze źródeł rolniczych w Polsce i jej praktyczne zastosowanie. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2006, 1(16): 319-334.
  14. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lutego 2020 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu”. Dz.U. 2020 poz. 243.
  15. Uchwała nr 34 Rady Ministrów z dnia 29 kwietnia 2019 r. w sprawie przyjęcia Krajowego programu ograniczania zanieczyszczenia powietrza. Monitor Polski, 2019 poz. 572.
- 

Adres do korespondencji:

*dr Zuzanna Jarosz; prof. dr hab. Antoni Faber*  
*Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8*  
*24-100 Puławy*  
*tel.: 81 4786 766; 81 4786 767*  
*e-mail: zjarosz@iung.pulawy.pl; faber@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR	ORCID
Zuzanna Jarosz	0000-0002-3428-5804
Antoni Faber	0000-0002-3055-1968



W serii wydawniczej „RAPORTY PIB”, a od 2007 r. „STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB” ukazały się następujące pozycje:

1. *Wybrane aspekty agrochemicznych badań gleby*. Puławy, 2006.
2. *Zasady wprowadzania nawozów do obrotu*. Puławy, 2006.
3. *Regionalne zróżnicowanie produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2006.
4. *Monitoring skutków środowiskowych planu rozwoju obszarów wiejskich*. Puławy, 2007.
5. *Sprawdzenie przydatności wskaźników do oceny zrównoważonego gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach i województwach*. Puławy, 2007.
6. *Możliwości rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce*. Puławy, 2007.
7. *Współczesne uwarunkowania organizacji produkcji w gospodarstwach rolniczych*. Puławy, 2007.
8. *Efektywne i bezpieczne metody regulacji zachwaszczenia, nawożenia i uprawy roli*. Puławy, 2007.
9. *Wybrane elementy technologii produkcji roślinnej*. Puławy, 2007.
10. *Problem erozji gleb w procesie przemian strukturalnych na obszarach wiejskich*. Puławy, 2008.
11. *Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*. Puławy, 2008.
12. *Wybrane zagadnienia systemów informacji przestrzennej i obszarów problemowych rolnictwa w Polsce*. Puławy, 2008.
13. *Tworzenie postępu biologicznego w hodowli tytoniu i chmielu*. Puławy, 2008.
14. *Kierunki zmian w produkcji roślinnej w Polsce do roku 2020*. Puławy, 2009.
15. *Wybrane elementy regionalnego zróżnicowania rolnictwa w Polsce*. Puławy, 2009.
16. *Systemy wspomagania decyzji w zrównoważonej produkcji roślinnej*. Puławy, 2009.
17. *Stan i kierunki zmian w produkcji rolniczej (wybrane zagadnienia)*. Puławy, 2009.
18. *Produkcyjne i środowiskowe aspekty współczesnych metod nawożenia i regulacji zachwaszczenia*. Puławy, 2009.
19. *Oddziaływanie rolnictwa na środowisko przyrodnicze w warunkach zmian klimatu*. Puławy, 2010.
20. *Ocena zrównoważenia gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach, powiatach i województwach*. Puławy, 2010.
21. *Możliwości rozwoju obszarów problemowych rolnictwa (OPR) w świetle PROW 2007–2013*. Puławy, 2010.
22. *Możliwości rozwoju gospodarstw o różnych kierunkach produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2010.
23. *Związki fitogeniczne jako naturalna alternatywa antybiotykowych promotorów wzrostu*. Puławy, 2010.
24. *Wybrane aspekty przemian strukturalnych na obszarach wiejskich*. Puławy, 2010.
25. *Stan obecny i perspektywy nawożenia roślin w Polsce w aspekcie regulacji prawnych*. Puławy, 2010.
26. *Stan obecny i perspektywy rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce*. Puławy, 2010.
- 27(1). *Środowiskowe skutki działalności rolniczej i wdrażania PROW na obszarach problemowych rolnictwa*. Puławy, 2011.



- 28(2). *Techniki i technologie stosowane w produkcji roślinnej a środowisko przyrodnicze*. Puławy, 2012.
- 29(3). *Problemy zrównoważonego gospodarowania w produkcji rolniczej*. Puławy, 2012.
- 30(4). *Doskonalenie integrowanych technologii produkcji zbóż jarych i roślin pastewnych ze szczególnym uwzględnieniem początkowych elementów agrotechniki*. Puławy, 2012.
- 31(5). *Rola badań naukowych w kształtowaniu postępu w produkcji chmielu i tytoniu*. Puławy, 2012.
- 32(6). *Wybrane aspekty zrównoważonego rozwoju i specjalizacji gospodarstw rolniczych*. Puławy, 2013
- 33(7). *Działalność Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa-PIB w Puławach w zakresie wspierania doradztwa i praktyki rolniczej*. Puławy, 2013.
- 34(8). *Problemy gospodarki nawozowej w Polsce*. Puławy, 2013.
- 35(9). *Zagrożenia dla prawidłowego funkcjonowania gleb użytkowanych rolniczo – wybrane zagadnienia*. Puławy, 2013.
- 36(10). *Zmiany w technologiach produkcji roślinnej – oceny i wpływ na środowisko rolnicze*. Puławy, 2014.
- 37(11). *Dobre praktyki w nawożeniu*. Puławy, 2014.
- 38(12). *Jakość informacji w systemach wspomagania decyzji*. Puławy, 2014.
- 39(13). *Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii pochodzenia rolniczego i ich wpływ na środowisko*. Puławy, 2014.
- 40(14). *Wybrane problemy rolnictwa polskiego z uwzględnieniem stanu jego zrównoważenia*. Puławy, 2014.
- 41(15). *Technologie produkcji zbóż i roślin pastewnych warunkujące wysoki plon i dobrą jakość*. Puławy, 2014.
- 42(16). *Podstawy nowoczesnego doradztwa nawozowego w Polsce*. Puławy, 2015.
- 43(17). *Wybrane problemy produkcji rolniczej z uwzględnieniem aspektu dóbr publicznych*. Puławy, 2015.
- 44(18). *Wybrane zagadnienia produkcji roślinnej w Polsce*. Puławy, 2015.
- 45(19). *Kształtowanie żyzności gleby*. Puławy, 2015.
- 46(20). *Wybrane zagadnienia związane z ochroną gleb przed degradacją*. Puławy, 2015.
- 47(1). *Problemy produkcji rolniczej w Polsce w kontekście ich oddziaływania na środowisko*. Puławy, 2016.
- 48(2). *Innowacje w nawożeniu*. Puławy, 2016.
- 49(3). *Siedliskowe i agrotechniczne uwarunkowania produkcji roślinnej w Polsce*. Puławy, 2016.
- 50(4). *Technologie produkcji roślinnej w warunkach zmieniającego się klimatu*. Puławy, 2016.
- 51(5). *Krajowe bazy danych o glebach*. Puławy, 2017.
- 52(6). *Redukcja emisji gazów cieplarnianych i amoniaku oraz metody adaptacji do zmian klimatu (wybrane zagadnienia)*. Puławy, 2017.
- 53(7). *Nawożenie a środowisko*. Puławy, 2017.
- 54(8). *Jakość gleb użytkowanych rolniczo i wskaźniki jej oceny*. Puławy, 2017.
- 55(9). *Uwarunkowania i kierunki zmian produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2018.
- 56(10). *Aktualne problemy nawożenia*. Puławy, 2018.
- 57(11). *Technologie produkcji roślinnej w warunkach zmieniającego się klimatu*. Puławy, 2018.

- 58(12).** *Stan zagrożeń dla jakości gleb w Polsce.* Puławy, 2018.
- 59(13).** *Środowiskowe aspekty gospodarki nawozowej.* Puławy, 2019.
- 60(14).** *Znaczenie postępu biologicznego i technologicznego w produkcji zbóż i roślin strączkowych.* Puławy, 2019
- 61(15).** *Wybrane zagadnienia agrotechniki roślin uprawnych.* Puławy, 2020.
- 62(16).** *Uwarunkowania i perspektywy rozwoju produkcji rolniczej w różnych regionach Polski.* Puławy, 2020.
- 63(17).** *Nawożenie – aspekty produkcyjne i środowiskowe.* Puławy, 2020.
- 64(18).** *Zagrożenia dla jakości gleb w Polsce – część II.* Puławy, 2020.
- 65(19).** *Teoretyczne podstawy racjonalnego nawożenia.* Puławy, 2021.
- 66(20).** *Zrównoważone użytkowanie i ochrona gleb jako element Europejskiego Zielonego Ładu.* Puławy, 2021.

## WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

W serii wydawniczej „**STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB**” publikowane są recenzowane prace z zakresu agronomii oraz ochrony i kształtowania środowiska rolniczego, wykonane w ramach zadań programów wieloletnich pn. „Kształtowanie środowiska rolniczego Polski oraz zrównoważony rozwój produkcji rolniczej” (2005-2010) oraz „Wspieranie działań w zakresie kształtowania środowiska rolniczego i zrównoważonego rozwoju produkcji rolniczej w Polsce” (2011-2015). W zeszytach problemowych o charakterze monografii, wydawanych w ramach tej serii, mogą być zamieszczane również prace autorów spoza IUNG-PIB, które merytorycznie mieszczą się w tematyce zadań programu wieloletniego. **Publikowane są prace problemowe, głównie mające charakter przeglądowy, z podkreśleniem znaczenia omawianych zagadnień dla rolnictwa polskiego.**

### **Wydruk tekstu do recenzji:**

czcionka 12 p., z odstępem 1,5-wierszowym.

### **Przygotowanie do druku:**

- tekst i tabele w programie Word,
- czcionka – Times New Roman
- układ pracy: słowa kluczowe, wstęp, wyniki i dyskusja bądź omówienie wyników, podsumowanie lub wnioski, literatura, dane kontaktowe, nr ORCID

### **tekst**

- czcionka – 11 p. (spis pozycji literatury – 9 p.)
- wcięcie akapitowe – 0,5 cm

### **tabele**

- podział na wiersze i kolumny (z funkcji tworzenia tabel)
- szerokość dokładnie 13 cm (tabele w pionie) lub 19 cm (tabele w poziomie)
- czcionka 9 p., pojedyncze odstęp międzywierszowe
- pod tabelą przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

### **rysunki/fotografie**

- czarno-białe/kolorowe (możliwie duża rozdzielczość)
- wykresy w programie Word lub Excel
- wymiary w zakresie 13 cm × 19 cm
- w podpisach czcionka 9 p.
- na nośniku lub w oddzielnych plikach
- pod rysunkiem przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

### **jednostki miary**

- system SI
- jednostki zapisywać potęgowo (np. t·ha<sup>-1</sup>)

### **literatura**

- spis literatury na końcu pracy w układzie alfabetycznym wg nazwisk autorów, w kolejności: nazwisko (pismo rozstrzelone), pierwsza litera imienia, tytuł pracy, miejsce publikacji: tytuł wydawnictwa (wg ogólnie przyjętych skrótów tytułów czasopism), rok, numer (pismo pogrubione), strony,
- cytowanie w tekście – jako numer pozycji ze spisu literatury (w nawiasach okrągłych) lub dodatkowo z nazwiskiem autora (pismo rozstrzelone).

Pracę do recenzji należy złożyć w 1 egzemplarzu. Po recenzji oryginalny egzemplarz recenzowany złożyć/przesłać do Redakcji, a ostateczną wersję pracy, uwzględniającą uwagi recenzenta i redaktora, przesłać e-mailem.

Dane kontaktowe:

mgr Ewa Decka-Cywińska

Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB

ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy

e-mail: edeka@iung.pulawy.pl



ISBN 978-83-7562-388-8  
Publikacja elektroniczna

Egzemplarz bezpłatny