

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA
I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT
BADAWCZY



**STUDIA
I
RAPORTY
IUNG - PIB**

19

PROGRAM WIELOLETNI
2005–2010

PUŁAWY, 2010

**ODDZIAŁYWANIE ROLNICTWA
NA ŚRODOWISKO
PRZYRODNICZE
W WARUNKACH ZMIAN
KLIMATU**

KSZTAŁTOWANIE
ŚRODOWISKA ROLNICZEGO POLSKI
ORAZ ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ
PRODUKCJI ROLNICZEJ

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: *prof. dr hab. Seweryn Kukula*

Redaktor: *prof. dr hab. Adam Harasim*

Recenzenci: *prof. dr hab. Tadeusz Górski*
prof. dr hab. Adam Harasim
doc. dr hab. Janusz Igras
dr Jerzy Kozyra
prof. dr hab. Stanisław Krasowicz
prof. dr hab. Stefan Martyniuk
prof. dr hab. Jerzy Sadowski
prof. dr hab. Henryk Terelak

Opracowanie redakcyjne i techniczne: *dr Irena Marcinkowska*

ISBN 978-83-7562-053-5

Egzemplarz bezpłatny

Nakład 400 egz., B-5, zam. 34/A/10
Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG - PIB w Puławach
tel. (081) 8863421 w. 301 i 307; fax (081) 8864547
e-mail: iung@iung.pulawy.pl; <http://www.iung.pulawy.pl>

ODDZIAŁYWANIE ROLNICTWA
NA ŚRODOWISKO PRZYRODNICZE
W WARUNKACH ZMIAN KLIMATU

SPIS TREŚCI

Wstęp	7
1. Janusz Igras, Jan Jadczyzyn, Tomasz Stuczyński – Problemy kształtowania środowiska rolniczego w świetle badań IUNG-PIB – osiągnięcia i nowe wyzwania	9
2. Jan Kucharski, Jadwiga Wyszowska – Oddziaływanie rolnictwa na właściwości mikrobiologiczne gleb	37
3. Jan Jadczyzyn – Wpływ systemów uprawy roli na nasilenie procesów erozyjnych w warunkach zmian klimatu	55
4. Wioletta Wrzeszcz – Bilans glebowej substancji organicznej w gospodarstwach indywidualnych objętych rachunkowością rolną FADN	69
5. Edward Pierzgalski – Zasoby wodne a rozwój rolnictwa	91
6. Mariusz Kucharski – Chemiczna ochrona roślin przed chwastami – wpływ na środowisko	105
7. Zbigniew W. Kundzewicz, Andrzej Kędziora – Zmiany klimatu i ich wpływ na środowisko i gospodarkę (obserwacje i projekcje)	115
8. Jerzy Kozyra, Anna Nieróbca, Katarzyna Mizak, Rafał Pudelko, Magdalena Borzęcka-Walker, Antoni Faber, Andrzej Doroszewski, – Zmiana klimatu – nowe wyzwania dla rolnictwa	133



Wstęp

Rolnictwo jest jednym z głównych czynników mających bezpośredni wpływ na środowisko przyrodnicze (glebę, wodę i powietrze), którego ochrona i zachowanie jest priorytetem działania nauki, agend rządowych, organizacji pozarządowych i polityków. Wyrazem ogromnego zainteresowania nauki tymi zagadnieniami są europejskie programy badawcze finansowane w ramach tzw. Programów Ramowych Unii Europejskiej. Tematyka programu badawczego na rok 2011 zawarta została w ogólnym temacie „Transformacja w kierunku zrównoważonego rozwoju społeczno-gospodarczego w zmieniającym się klimacie”. Program ten skupia się na takich zagadnieniach, jak: procesy klimatyczne i ich przewidywanie, oszacowanie efektywności i kosztów zapobiegania ewentualnym wpływom niekorzystnym, jak również możliwości techniczne i organizacyjne zapobiegania zjawiskom niepożądanym. Mają one na celu wypracowanie strategii adaptacji lub łagodzenia niekorzystnych wpływów zmian klimatycznych.

W działania te wpisuje się również projekt PROFICIENCY – wzmocnienie kompetencji IUNG-PIB w zakresie „Organizacja produkcji żywności i pasz oraz ich bezpieczeństwo i jakość w warunkach globalnych zmian klimatycznych”, którego IUNG-PIB jest koordynatorem i jedynym beneficjentem. Projekt realizowany jest w ramach 7 Programu Ramowego Unii Europejskiej w obszarze 4.1. – „Otwieranie i rozwój potencjału badawczego jednostek naukowych w regionach konwergencji Unii Europejskiej REGPOT”. Główne zadania projektu sprowadzają się do trzech podstawowych zagadnień: wzrost potencjału materialnego Instytutu poprzez zakup i unowocześnienie aparatury naukowo-badawczej, rozwój potencjału ludzkiego poprzez dwustronną wymianę naukową z placówkami zagranicznymi oraz rozwój partnerstwa i współpracy z ośrodkami Europejskiej Przestrzeni Badawczej (ERA). Trzy podstawowe działania mają na celu wzmocnienie kompetencji wokół zagadnień związanych z wpływem zmian klimatycznych na cztery obszary produkcji rolniczej:

- środowisko glebowe,
- wykorzystanie przestrzeni rolniczej,
- systemy i techniki produkcji rolniczej,
- jakość i bezpieczeństwo produktów rolnych.

Prezentowane materiały zawierają rozszerzone wersje referatów i doniesień przedstawionych podczas konferencji naukowej „Oddziaływanie rolnictwa na środowisko przyrodnicze w warunkach zmian klimatu”, która odbyła się w Puławach w dniach 9-10 czerwca 2010 roku w zakresie realizowanego projektu PROFICIENCY. Niektóre prace były wykonane w ramach programu wieloletniego „Kształtowanie środowiska rolniczego Polski oraz zrównoważony rozwój produkcji rolniczej” realizowanego przez IUNG-PIB.

Kierownik projektu PROFICIENCY

prof. dr hab. Wiesław Oleszek

Janusz Igras, Jan Jadczyzyn, Tomasz Stuczyński

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

PROBLEMY KSZTAŁTOWANIA ŚRODOWISKA ROLNICZEGO W ŚWIETLE BADAŃ IUNG-PIB – OSIĄGNIĘCIA I NOWE WYZWANIA*

Wstęp

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach w okresie 60 lat swojej działalności odegrał istotną rolę w badaniach nad kształtowaniem środowiska rolniczego w Polsce. Proces ten definiuje się jako świadome wprowadzanie zmian w ekosystemach (16, 21) i przebiega on zwykle jednocześnie z procesami użytkowania i ochrony. Jak twierdzi P o s k r o b k o (21) zmiany w kształtowaniu środowiska mogą dotyczyć:

- redukcji niektórych elementów systemu nadmiernie rozwiniętych ze względu na wcześniejszą ingerencję człowieka;
- kompensacji elementów ekosystemu rozumianej jako uzupełnienie brakujących i tworzenie nowych elementów;
- rekultywacji, tj. odtworzenia ekosystemów zdegradowanych.

Zagadnienia te znajdują swoje odzwierciedlenie w głównych nurtach działalności IUNG-PIB jako jednostki łączącej badania agrotechniczne (technologiczne) z optymalizacją wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej i kształtowaniem środowiska rolniczego zarówno w ramach działalności statutowej, jak i realizowanego od roku 2005 programu wieloletniego. Należy podkreślić, że działalność Instytutu w zakresie kształtowania środowiska w ujęciu długofalowym posiada charakter dynamiczny i otwarty. Z jednej strony nawiązywała ona do prac Państwowego Instytutu Naukowego Gospodarstwa Wiejskiego (PIGW), z drugiej zaś na jej kształt wywierają wpływ pojawiające się nowe koncepcje i uwarunkowania działalności rolniczej, w tym także procesy integracji europejskiej. Uwarunkowania te decydowały o konieczności łączenia badań diagnostycznych z przedsięwzięciami operacyjnymi, ujętymi w formie praktycznych wskazań i zaleceń.

Podstawowe problemy kształtowania środowiska rolniczego w badaniach IUNG-PIB w minionym 60-leciu dotyczyły (7, 11, 16, 17, 24, 25, 27):

* Opracowanie wykonano w ramach zadań 1.1, 1.3, 1.8 w programie wieloletnim IUNG - PIB

- rozpoznania i oceny przyrodniczych warunków produkcji rolnej oraz praktycznego wykorzystania waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej;
- ochrony gleb i rekultywacji gruntów;
- oceny stanu agrochemicznego gleb Polski oraz opracowania zasad zrównoważonego zarządzania składnikami pokarmowymi na poziomie pola, gospodarstwa i regionu;
- oceny wpływu rolnictwa na jakość wody oraz udziału rolnictwa w emisji składników biogenicznych do Bałtyku.

Rozpoznanie i ocena przyrodniczych warunków produkcji rolnej oraz praktyczne wykorzystanie waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej

Powszechnie znane prace IUNG-PIB nad rozpoznaniem i oceną przyrodniczych warunków produkcji rolnej, a więc swoista diagnoza stanu środowiska, mogły być realizowane dzięki wcześniejszym badaniom gleboznawczo-kartograficznym oraz stworzeniu podstaw gleboznawstwa rolniczego (27). Dyscyplina ta ma tradycje sięgające początku działalności Puławskiego Ośrodka Nauk Rolniczych. Prace w zakresie oceny przyrodniczych warunków produkcji rolnej, pomimo formalnych zmian nazewnictwa jednostek organizacyjnych i struktury Instytutu, zawsze uwzględniały tematykę związaną z kartografią gleboznawczą i oceną środowiska przyrodniczego, a glebowego w szczególności. Nabrały one specjalnego znaczenia w okresie powojennym. W okresie tym opracowano szereg map glebowych o różnej skali oraz liczne opracowania monograficzne charakteryzujące gleby i środowisko przyrodnicze różnych obszarów kraju, szczególnie słabo rozpoznanych. Bardzo dużym osiągnięciem Instytutu jest stworzenie i rozwinięcie teoretycznych podstaw gleboznawstwa rolniczego, wiążącego właściwości genetyczno-przyrodnicze gleb z ich przydatnością rolniczą. Znalazło to wyraz w opracowanym systemie podziału gleb użytków rolnych, który stał się podstawą do wykonania map przydatności rolniczej gleb (tzw. map glebowo-rolniczych) i glebowo-przyrodniczych w skalach 1 : 5 000, 1 : 25 000 i 1 : 100 000. Dokonania te stawiają Polskę w światowej czołówce pod względem inwentaryzacji zasobów glebowych i stwarzają dobre podstawy racjonalnego wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej.

Równocześnie z pracami kartograficzno-gleboznawczymi przeprowadzono w doświadczalnictwie polowym badania nad plonowaniem roślin na różnych glebach, uwzględniając jednostkę systematyczną, klasę bonitacyjną i kompleks przydatności rolniczej. Wyniki tych badań, łącznie z oceną warunków agroklimatycznych, rzeźby terenu, gleby i warunków wodnych terenu wyrażoną w punktach, w układzie dla makro- i mikroregionów (województwa, gminy), pozwoliły na syntetyczne opracowanie oryginalnej, punktowej oceny warunków przyrodniczych produkcji rolnej w kraju.

W systemie waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej brane są pod uwagę statyczne wskaźniki oceny poszczególnych elementów siedliska, takie jak: jakość i przydatność gleb, wilgotność gleb, rzeźba terenu oraz agroklimat. Waloryzację warunków przyrodniczych opracowano na podstawie ilościowych zależności pomiędzy

plonem a jakością siedliska i klimatem (34). Wycenę warunków glebowo-przyrodniczych opracowaną metodami analizy statystycznej zagregowano do poziomu gmin, obliczając ogólny wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WWRPP) jako miarę potencjału produkcyjnego siedliska. Wagi przyjęte w waloryzacji dla poszczególnych czynników są odzwierciedleniem ich rangi w kształtowaniu plonu (tab. 1). W waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej szczególne znaczenie mają warunki glebowe; w funkcji samego tylko wskaźnika jakości i przydatności gleb można wyjaśnić około 70% obserwowanej zmienności plonów (25). Wpływ pozostałych czynników jest znacznie mniejszy i wynosi łącznie około 30%. Udział wskaźnika cząstkowego agroklimatu, ujmującego cały kompleks czynników klimatycznych, zawiera się w przedziale 1-15 pkt., wskaźnika warunków wodnych w przedziale 1-5 pkt., a rzeźby terenu 0,1-5 pkt. (tab. 1). Zróżnicowanie naturalnego potencjału produkcyjnego w skali kraju wynika z przestrzennej zmienności ukształtowania terenu, pokrywy glebowej oraz opadów i temperatury. Wartość wskaźnika waloryzacji zawiera się w przedziale od 31 pkt. dla siedlisk najuboższych i najmniej przydatnych dla rolnictwa do 120 pkt. dla siedlisk najlepszych, o optymalnych warunkach dla wzrostu i rozwoju roślin.

Tabela 1

Przedziały wartości WWRPP i wskaźników cząstkowych

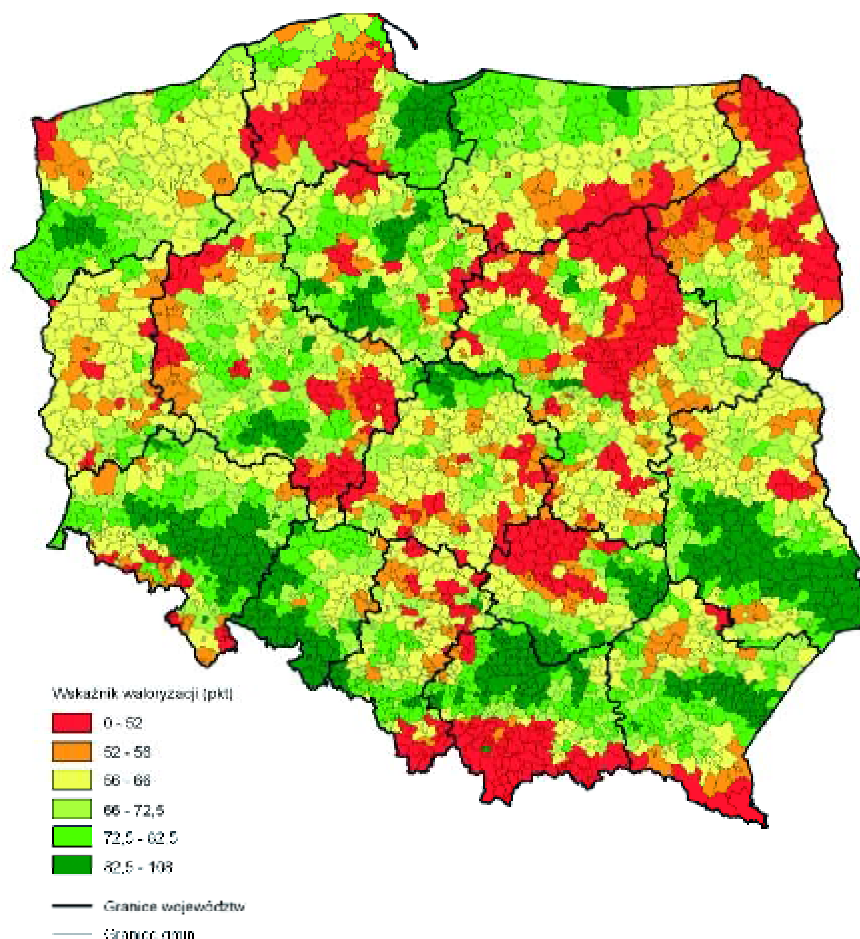
Wskaźnik cząstkowy	Zakres punktów
Jakości i przydatności rolniczej gleb	18-95
Agroklimatu	1-15
Rzeźby terenu	0,1-5
Warunków wodnych	1-5
Razem WRPP	31-120

Źródło: Stuczyński T. i in., 2007 (25).

Wyrażony w punktach wskaźnik waloryzacji przestrzeni rolniczej był i jest nadal wykorzystywany w pracach analitycznych oraz ostatnio w planowaniu strategicznym (24, 25). Obecnie, dysponując numerycznymi warstwami informacji charakteryzującymi poszczególne cechy siedliska, można przeprowadzać obliczenia wskaźnika waloryzacji dla dowolnych obszarów – obrębu geodezyjnego, zlewni, regionów funkcjonalnych itp. Był on także jednym z kryteriów wyodrębniania obszarów o niekorzystnych warunkach przyrodniczych (ONW); (24).

Średnia wartość WWRPP dla Polski wynosi 66,6 pkt.; przestrzenny rozkład wskaźnika w ujęciu dla gmin przedstawiono na rysunku 1.

Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej jest nadal wykorzystywana w pracach analitycznych oraz w planowaniu strategicznym. Wskaźnik ten jest także, zgodnie z metodyką zaproponowaną przez IUNG-PIB, jednym z kryteriów wyodrębniania obszarów o niekorzystnych warunkach przyrodniczych (ONW). Jednym z podstawowych celów Wspólnej Polityki Rolnej Unii Europejskiej jest racjonalny rozwój obsza-



Rys. 1. Wartość wskaźnika waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej według gmin
Źródło: Stuczyński T. i in., 2007 (25).

rów wiejskich w skali całej Europy oraz wyrównywanie szans i poprawa konkurencyjności rolnictwa funkcjonującego w przyrodniczo trudnych regionach. Zgodnie z wytycznymi Unii Europejskiej obszary o niekorzystnych warunkach gospodarowania to tereny o niskiej produktywności powodowanej słabą jakością gleb, niekorzystnymi warunkami klimatycznymi i topograficznymi oraz tereny zagrożone degradacją krajobrazu, wyludnianiem i utratą funkcji rolniczej. Działanie ONW realizowane jest w ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW). PROW jest instrumentem wsparcia finansowego gospodarstw rolnych i ma na celu rekompensatę wyższych kosztów i gorszych wyników produkcji w stosunku do gospodarstw położonych poza strefą ONW. W Polsce wydzielono trzy strefy ONW (24):

- 1) strefa górską – grunty położone powyżej 500 m n.p.m., gdzie produkcja rolna jest utrudniona ze względu na niekorzystne warunki klimatyczno-topograficzne, zwiększone nakłady pracy i środków produkcji, a także sprzętu;

- 2) strefa specyficzna – grunty położone na wysokości 350-500 m n.p.m., gdzie występują specyficzne utrudnienia związane z ukształtowaniem terenu, zwiększonymi nakładami na produkcję, rozdrobnieniem struktury agrarnej i zwiększonym ryzykiem erozyjnej degradacji gleby;
- 3) strefa nizinna – gdzie występują ograniczenia rozwoju rolnictwa w związku z niską jakością i produktywnością gleb, niekorzystnymi warunkami wodnymi i agroklimatycznymi oraz obszary wiejskie zagrożone wyludnieniem o niskim wskaźniku zaludnienia. W strefie nizinnej wyróżniono dwie podstrefy – niziną I ONW i niziną II ONW.

Szczegółowe kryteria kwalifikacji obszarów wiejskich do strefy nizinnej podano w tabeli 2. Istotnym czynnikiem kwalifikacji do strefy nizinnej I ONW był również wskaźnik zaludnienia. Przy niskim zaludnieniu ($<40 \text{ osób} \cdot \text{km}^{-2}$) do strefy nizinnej I włączono gminy o warunkach przyrodniczych lepszych od przeciętnych w kraju, o wartości wskaźnika 66,6 pkt. (tab. 2). Kwalifikacja do strefy nizinnej II ONW oparta była wyłącznie o wskaźnik waloryzacji bez uwzględnienia wskaźnika zaludnienia. Z uwagi na bardzo duże zróżnicowanie siedliska glebowego Komisja Europejska wyraziła zgodę na przeprowadzenie procesu uszczegółowienia stref ONW w Polsce do poziomu obrębu geodezyjnego. Etap uszczegółowienia do poziomu obrębu prowadził Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy w Puławach (25). W oparciu o dane powierzchni klas bonitacyjnych otrzymywane z gmin, kompleksy rolniczej przydatności gleb z numerycznej mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25000, numerycznego modelu terenu (DTM) oraz granice obrębów geodezyjnych obliczono wskaźnik waloryzacji dla poszczególnych obrębów geodezyjnych. Przy kwalifikacji obrębów geodezyjnych stosowano kryteria zawarte w tabeli 2 bez uwzględnienia czynnika zaludnienia, co w praktyce oznacza, że w strefie ONW znalazły się obręby, dla których wskaźnik waloryzacji nie przekroczył 56 pkt. Łącznie w skali kraju do strefy ONW włączono 56,5% użytków rolnych, w tym do strefy górskiej 1,2% i do strefy specyficznej 3,0%. Przestrzenny rozkład stref ONW przed-

Tabela 2

Kryteria kwalifikacji gmin do obszarów nizinnych ONW

Czynniki demograficzne		Wskaźnik Waloryzacji Rolniczej Przestrzeni Produkcyjnej: wielkość w stosunku do wartości średniej krajowej* (%)/ punkty				
gęstość zaludnienia (osób · km ²)	% ludności w gospodarstwach	110-125 72,6-82,5	100-110 66,1-72,5	85-100 56,1-66,0	79-85 52,1-56,0	< 79 < 52
< 25		ONW I	ONW I	ONW I	ONW I	ONW II**
25-40	> 33	X	ONW I	ONW I	ONW I	
40-60	> 50	X	X	ONW I	ONW I	
> 60	> 66	X	X	X	ONW I	
Pozostałe czynniki		X	X	X	ONW I	

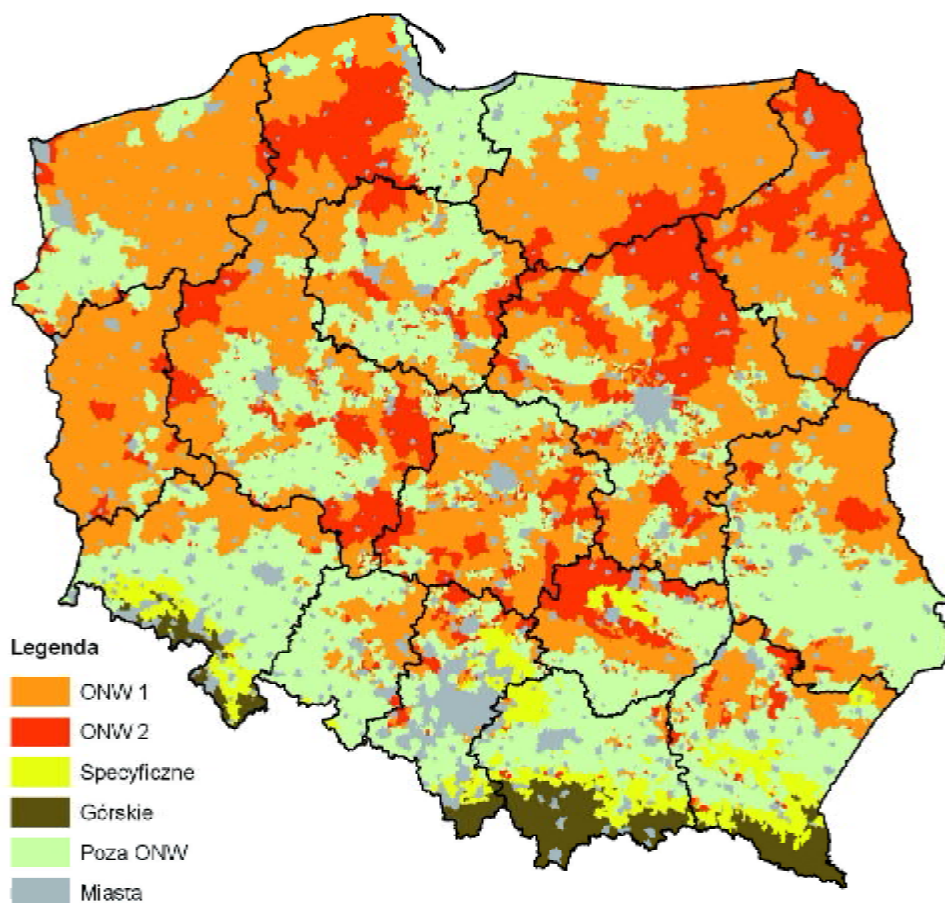
ONW I – strefa nizinna I ONW

ONW II – strefa nizinna II ONW

Źródło: Jadczyński J., 2009 (14).

stawiono na rysunku 2. Obecnie Komisja Europejska prowadzi prace zmierzające do ujednolicenia kryteriów, które pozwolą na jednoznaczne definiowanie stref ONW we wszystkich krajach członkowskich EU.

Na podstawie wyznaczonych obszarów (ONW) prowadzono prace mające na celu dalsze uszczegółowienie i rozszerzenie dotychczasowych kryteriów o czynniki ograniczające rozwój obszarów wiejskich, mające istotny wpływ na efektywność produkcji, jakość produktów rolnych i walory środowiska. Obszary wyznaczone w oparciu o rozszerzone kryteria określono mianem obszarów problemowych rolnictwa (OPR), terenów trudnych do rolniczego użytkowania, w większym stopniu narażonych na marginalizację i zaniechanie działalności rolniczej (4). Do obszarów problemowych włączono gminy wiejskie i wiejsko-miejskie, w których powierzchnia ze względu na wybrany czynnik limitujący przekracza 50% użytków rolnych:



Rys. 2. Obszary o niekorzystnych warunkach gospodarowania (ONW)

Źródło: Stuczyński T. i in., 2006 (24).

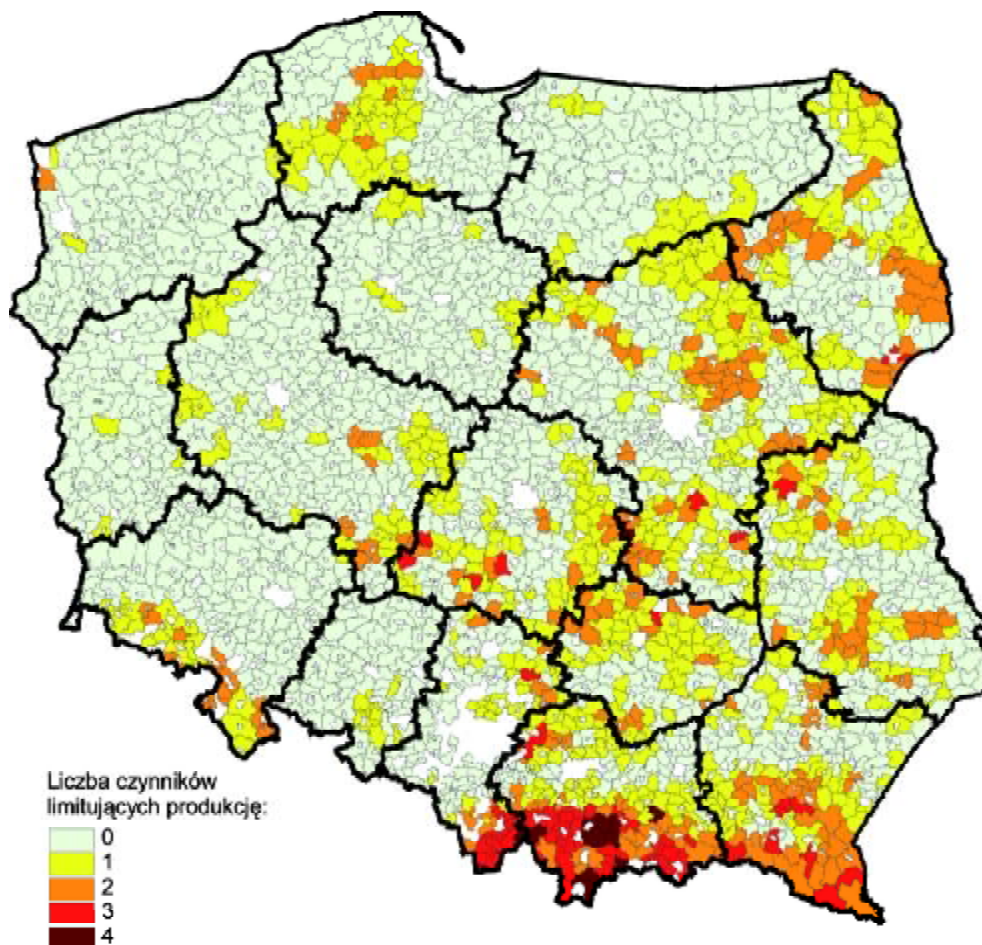
- 1) gminy o warunkach skrajnie niekorzystnych dla rolnictwa, zaliczone do strefy nizinnej II ONW w oparciu o wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WWRPP), o wartości ≤ 52 pkt. oraz gminy stref górskiej i specyficznej (24),
- 2) gminy o glebach z niską zawartością próchnicy $< 1,3\%$,
- 3) o silnie zakwaszonych glebach $\text{pH} < 4,5$,
- 4) zagrożone erozją wodną w stopniu średnim i silnym,
- 5) z glebami zanieczyszczonymi metalami ciężkimi (zgodnie z kryteriami rozporządzenia Ministra Środowiska z 9 września 2002 r.),*
- 6) o rozdrobnionej strukturze przestrzennej gospodarstw (średnia powierzchnia gospodarstwa w gminie 1-10 ha, liczba działek większa od 4, a średnia powierzchnia działki mniejsza od 2,5 ha).**

W Polsce do obszarów problemowych zakwalifikowano 820 gmin, co stanowi 38% liczby analizowanych gmin i 32% użytków rolnych (rys. 3). Większa koncentracja OPR występuje w południowej i środkowo-wschodniej części kraju, obejmując województwa: małopolskie, podkarpackie, świętokrzyskie, podlaskie i mazowieckie. Na znacznej części gmin (33%) włączonych do OPR występują dwa i więcej czynników limitujących produkcję rolniczą i rozwój obszarów wiejskich, tworząc strefę obszarów wieloproblemowych. Działania wspierające na tych terenach realizowane w ramach Wspólnej Polityki Rolnej powinny uwzględniać zróżnicowanie warunków przyrodniczo-gospodarczych i realne ograniczenia dla rolnictwa, by zwiększyć efektywność ponoszonych nakładów. Zaznaczające się w ostatnich latach procesy upraszczania organizacji, wzrost udziału zbóż w strukturze zasiewów oraz intensyfikacja produkcji rolniczej na glebach kwaśnych i lekkich o niskiej pojemności wodnej stwarzają poważne zagrożenia dla potencjału rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Utrzymywanie się tych zjawisk w dłuższym okresie może prowadzić do degradacji potencjału produkcyjnego gleb oraz utraty samowystarczalności żywieniowej kraju netto. Zagrożenia dla potencjału produkcyjnego mogą się wiązać ze zmianami właściwości chemicznych i fizycznych gleb oraz pogorszeniem ich aktywności mikrobiologicznej. Wskazywanie zagrożeń dla rolniczej przestrzeni produkcyjnej było niezwykle istotnym kierunkiem działalności Instytutu w zakresie kształtowania środowiska rolniczego. Zaproponowano także rozwiązania łagodzące lub rekompensujące skutki wskazanych zjawisk i tendencji, co wykazano w przygotowaniu i ocenie programu rolnośrodowiskowego (PROW).

Ważnym osiągnięciem w zakresie fizyki gleb opartym na wynikach wieloletnich badań było określenie retencyjności wodnej gleb mineralnych z wydzieleniem różnych form wody, uwzględniając potrzeby roślin uprawianych w warunkach naturalnych i przy stosowaniu nawodnień (27). Opracowano również kryteria oceny stosunków wodnych gleb i potrzeb melioracji oraz określono efektywność tego zabiegu na różnych glebach. Wyznaczono relację między gęstością gleb a aeracją, wydatkiem dyfu-

* – kryterium powierzchni na poziomie $> 10\%$ UR

** – kwalifikowano w oparciu o średni wskaźnik rozdrobnienia struktury dla gminy



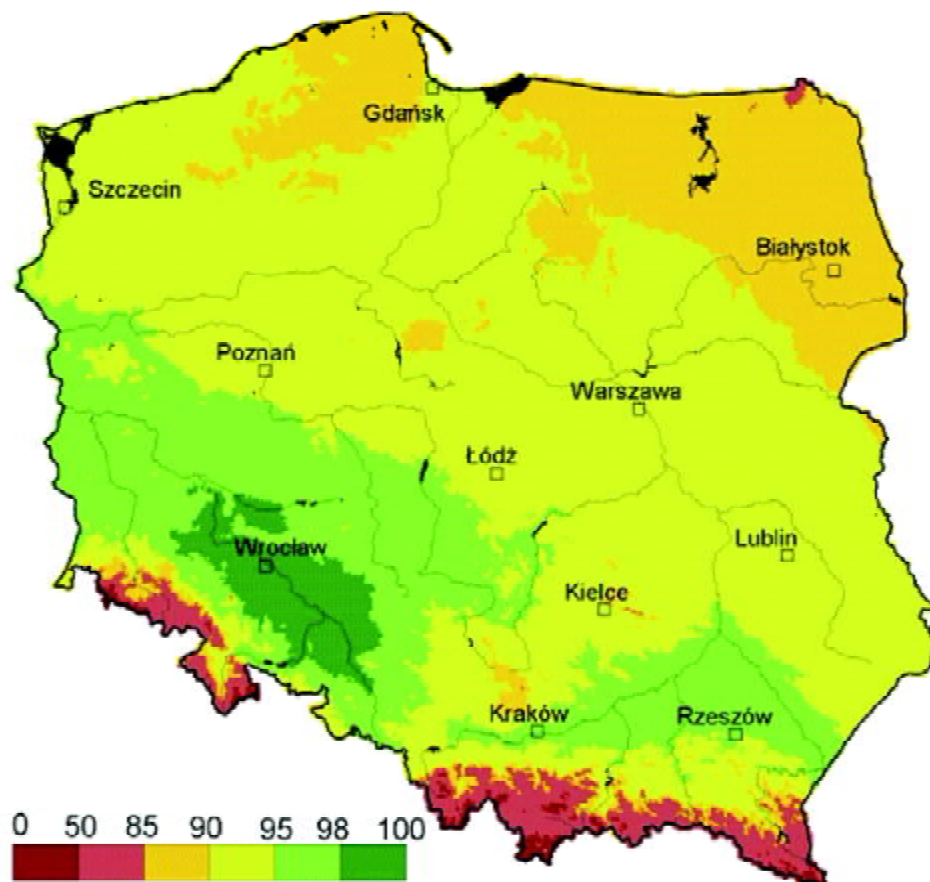
Rys. 3. Obszary problemowe rolnictwa w Polsce

Źródło: Jadczyzyn J., 2009 (14).

zji tlenu, potencjałem oksydoredukcyjnym i plonowaniem roślin. Zależności te, analizowane w typowych warunkach uprawowych oraz zagęszczenia gleb spowodowanego trakcją kołową sprzętu polowego, wykorzystano do opracowania empirycznego modelu optymalnego stanu głównych rodzajów gleb dla potrzeb roślin uprawnych. Istotnym osiągnięciem w zakresie badań nad właściwościami fizycznymi gleby dokonanym w ostatnich latach było opracowanie syntetycznego wskaźnika oceny jakości fizycznej gleb (S); (1). Wyznaczono wartość i przedziały tego wskaźnika dla stanów optymalnych, pogorszenia właściwości chemicznych i dla gleb zdegradowanych.

Istotnym elementem oceny warunków przyrodniczych była ocena warunków agroklimatycznych, którą opracowano w postaci syntetycznego wskaźnika bonitacji agroklimatu (9, 15). Wskaźnik może być wykorzystany do wykazania zróżnicowania warunków klimatycznych rolnictwa w Polsce, jako miara względna. Zagadnienie oceny

warunków agroklimatycznych musi być brane pod uwagę przy wszystkich analizach przestrzennych, które traktują klimat jako czynnik produkcji rolnej. Podstawą oceny poszczególnych regionów mogą być empiryczne zależności pogoda – plon. Syntetyczny wskaźnik bonitacji agroklimatu opracowano na podstawie cząstkowych wskaźników bonitacyjnych dla ważniejszych upraw Polsce, takich jak: pszenica ozima, żyto, jęczmień jary, owies, kukurydza, ziemniak, burak cukrowy, koniczyna czerwona oraz poplony ściemiskowe (8, 15). W waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej wskaźnik agroklimatu wyrażono w skali 15-stopniowej. Skala ta miała bezpośrednie odzwierciedlenie w poziomie uzyskiwanych plonów wyrażonych w jednostkach zbożowych. Bonitację agroklimatu dla celów porównań względnych można wyrazić w skali 100-punktowej. Wskaźnik bonitacji maleje od południowego zachodu ku północnemu wschodowi (rys. 4), podobnie jak długość okresu wegetacyjnego, przy pewnych modyfikacjach wymuszonych przez warunki wilgotnościowe.



Rys. 4. Bonitacja agroklimatyczna Polski

Źródło: Górski i Zaliwski, 2002 (9); Kozyra i Górski, 2004 (15).

Z bonitacją agroklimatu wiąże się zagadnienie niedoborów wody i suszy glebowej oraz stepowienia użytków rolnych, które ostatnio są zjawiskami istotnie wpływającymi na poziom produkcji rolnej w Polsce. Większa zmienność przebiegu warunków meteorologicznych w ostatnich latach może być przyczyną występowania większych niż dotychczas strat w plonach spowodowanych niekorzystnym przebiegiem pogody. Zjawisko to potwierdzają analizy indeksów pogodowych, które wyrażają wpływ elementów meteorologicznych na plony roślin (8). Analiza warunków plonowania pszenicy ozimej w ostatnich 40 latach wykonana przez Stuczyskiego i in. (25) na podstawie indeksów pogodowych wskazuje, że decydującym czynnikiem wpływającym na wielkość uzyskiwanych plonów w Polsce staje się susza występująca w okresie wiosenno-letnim. Częstotliwość i nasilenie susz w Polsce w ostatnich latach jest coraz istotniejszym problemem w wymiarze ogólnogospodarczym, jak i środowiskowym. Sugeruje się, że większa częstotliwość susz jest wynikiem obserwowanych zmian klimatycznych.

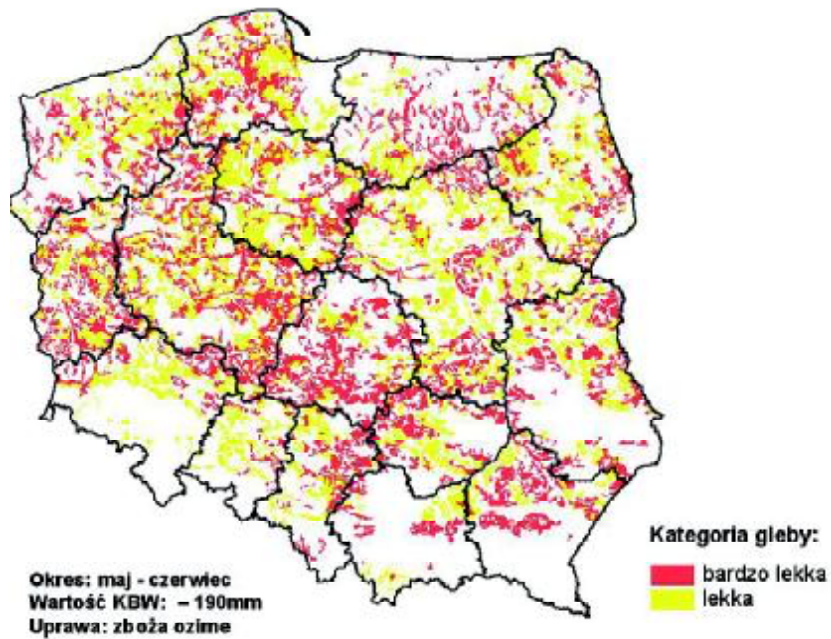
W 2007 roku IUNG-PIB podjął się opracowania systemu monitoringu suszy w Polsce w oparciu o modele prognoz plonów oraz na podstawie bazy danych o glebach naszego kraju (2). System pozwala oceniać zagrożenie suszą głównych upraw rolniczych za pomocą dekadowych raportów. Zadaniem systemu jest wskazanie obszarów, na których wystąpiły straty plonów spowodowane suszą. Podstawą systemu jest ocena klimatycznego bilansu wodnego (KBW) prowadzona dla poszczególnych gatunków lub grup roślin uprawnych oraz kategorii glebowych (22). Przykład teoretycznego zasięgu gleb, które mogą być dotknięte suszą w stopniu powodującym spadek plonu o 15%, w przypadku wystąpienia dwóch różnych poziomów klimatycznego bilansu wodnego (KBW), liczonego dla okresu sześciu dekad maja i czerwca (-190 mm i -240 mm) przedstawiono na rysunku 5. W rzeczywistości prawdopodobieństwo wystąpienia suszy glebowej na danym obszarze oceniane jest w oparciu o złożony model relacji przyrostu plonów w funkcji warunków przyrodniczo-glebowych.

Wyniki badań IUNG nad oceną warunków przyrodniczych do produkcji rolnej zostały także wykorzystane do wyznaczenia obszarów szczególnie przydatnych do produkcji ekologicznej oraz określenia możliwości produkcji biomasy na cele energetyczne.

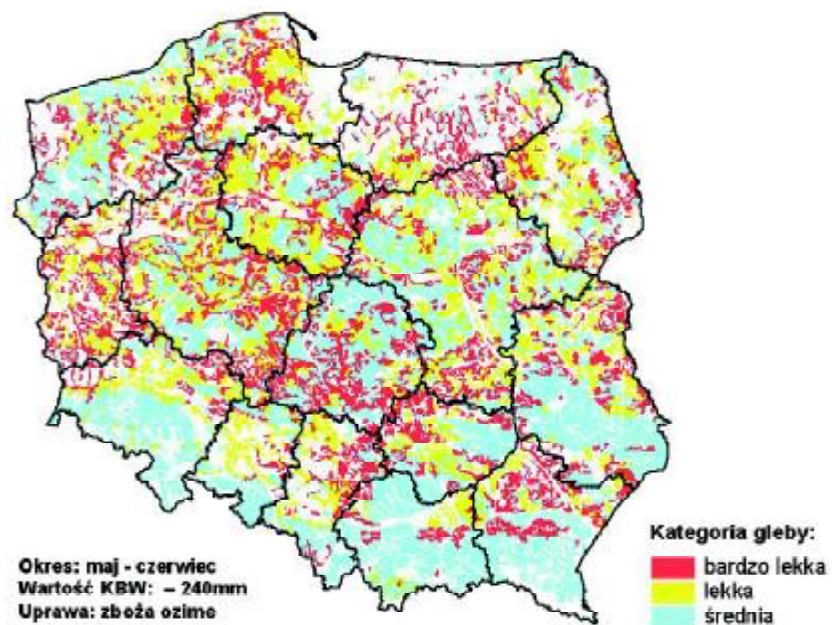
Ochrona gleb i rekultywacja gruntów

Istotnym czynnikiem mającym znaczny wpływ na efektywność produkcji oraz degradację gleby i deformację stosunków wodnych, a w dłuższej perspektywie również na kształtowanie środowiska rolniczego ma erozja wodna. Potencjalne zagrożenie procesami erozji jest uwarunkowane czynnikami przyrodniczymi (ukształtowanie terenu, podatność gleby na splukiwanie, opady), ale rzeczywiste skutki erozyjnej degradacji w znacznym stopniu zależą również od rolniczego zagospodarowania i sposobu uprawy roli. Zwiększanie powierzchni pól uprawnych i intensyfikacja uprawy prowadzi zwykle do nasilenia tempa erozji. Rezultatem badań nad ochroną gleb było opracowanie pierwszej w Polsce przeglądowej mapy potencjalnej erozji wodnej (25). Doko-

A



B



Rys. 5. Porównanie teoretycznych zasięgów przestrzennych kategorii agronomicznych gleb dotkniętych suszą pod uprawą zbóż ozimych – wartości KBW dla sześciu dekad w okresie maj-czerwiec; A – 190 mm, B – 240 mm

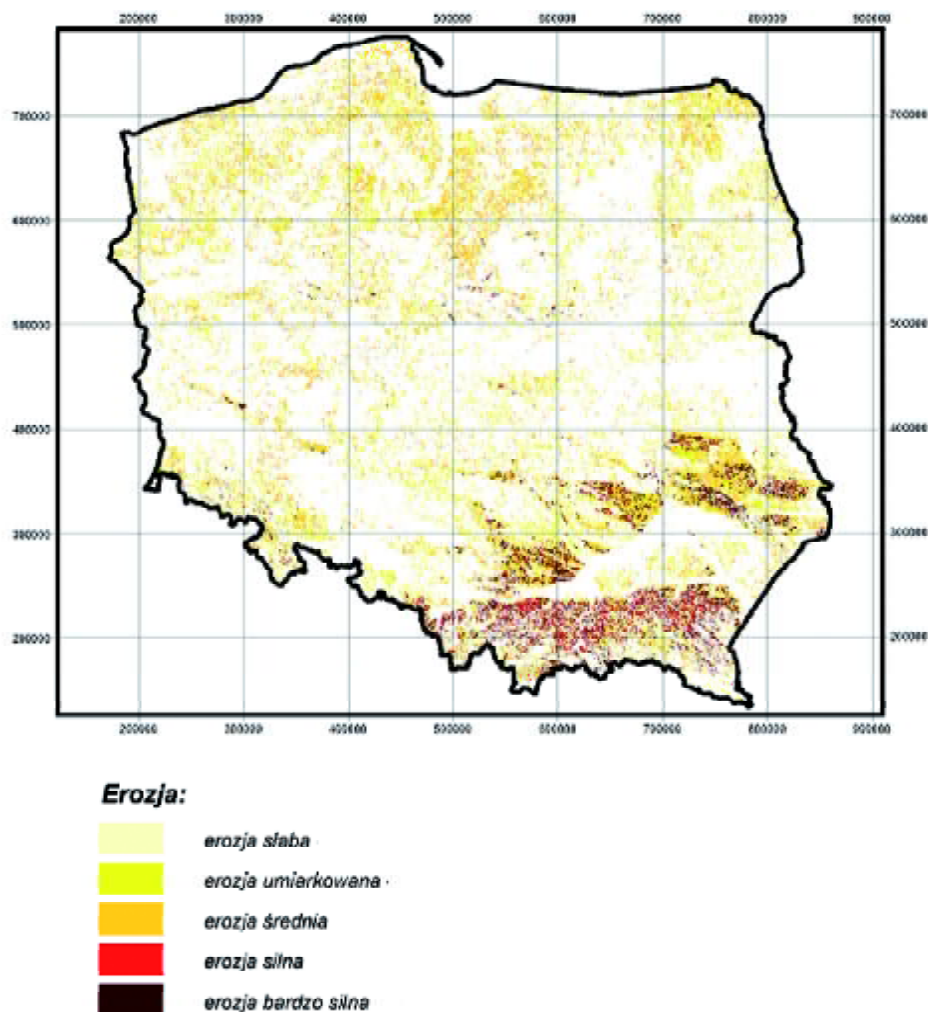
Źródło: Stuczyński T. i in., 2007 (25).

nano również rozpoznania przestrzennego i ilościowego zagrożenia erozją wodną oraz struktury gęstości sieci wąwozów w krainach fizjograficznych (IV i V rzędu) i jednostkach administracyjnych Polski (województwa, gminy). Wyniki badań posłużyły do opracowania mapy zagrożenia erozją w skali 1:300 000 oraz map erozji wąwozowej w skalach 1:25 000 i 1:500 000. Oddzielne zagadnienie badawcze stanowiło rozpoznanie struktury (zasieg i nasilenie) erozji eolicznej w Polsce w układzie województw. Posłużyło to do opracowania mapy zagrożenia gleb erozją wietrzną obszaru Polski w skali 1:500 000. Wymienione badania stanowiły podstawę do opracowania 5-stopniowej skali narażenia obszarów na erozję wodną, wąwozową i wietrzną. Opracowana metoda wykorzystywana jest dla celów planowania przestrzennego. Oprócz prac inwentaryzujących zjawiska erozyjne w kraju opracowano koncepcje i projekty techniczne melioracji przeciwoerozyjnych, metody zabudowy i zagospodarowania wąwozów, umacniania skarp wąwozowych i nasypów kolejowych, planowania i umacniania dróg rolniczych w terenach zagrożonych erozją oraz kompleksowego urządzania terenów rolniczych w obszarach zagrożonych erozją. Wiele z tych projektów wdrożono lub aktualnie jest wdrażanych w praktyce.

Zagadnienia erozji wodnej stanowią nadal istotny element badawczy oceny zagrożeń rolniczej przestrzeni produkcyjnej. W ostatnich latach dokonano weryfikacji zagrożeń obszaru Polski erozją wodną według danych CORINE 2000 (33); (rys. 6). Według systemu CORINE struktura użytkowania terenu w Polsce sprzyja zmniejszeniu zagrożenia erozją wodną powierzchnią. Znajduje to odzwierciedlenie w zmniejszeniu udziału najwyższych stopni zagrożenia erozją wodną powierzchnią (3-5) z potencjalnego 16,5% do aktualnego 7,1%. Według W a w e r a i N o w o c i e n i a (33), aby zmniejszyć wciąż dość wysokie aktualne zagrożenie erozją wodną powierzchnią należałoby zastosować na obszarze jej występowania melioracje przeciwoerozyjne, w tym transformację użytków rolnych w użytki ochronne. Dotyczy to ponad 2,2 mln ha, w tym około 500 tys. ha zagrożonych erozją wodną bardzo silną, w trybie bardzo pilnym. W ochronie gleb przed erozją istotną rolę odgrywają pakiety rolnośrodowiskowe wdrażane w ramach PROW, których ocenę skuteczności wdrażania prowadził także IUNG-PIB.

W tematyce dotyczącej ochrony gleb mieszczą się również badania nad określeniem niekorzystnego wpływu działalności gospodarczej na przyrodnicze warunki rolnictwa, w tym głównie na gleby w rejonach oddziaływania hut metali, zakładów chemicznych, cementowni oraz przemysłu wydobywczego siarki, węgla kamiennego i węgla brunatnego. Niekorzystne oddziaływanie tych przemysłów jest czynnikiem sprawczym degradacji chemicznej gleb, pogorszenia stosunków wodnych (zawodnienie, przesuszenie), deformacji mechanicznej gleb itp.

Z zagadnieniem tym wiąże się także problem oceny występowania metali śladowych w glebach. Informacje o stanie zanieczyszczenia gleb użytkowanych rolniczo metalami ciężkimi opierają się na wynikach badań chemizmu gleb Polski przeprowadzonych w latach 1992–1997 (28, 30). Program obejmował analizę ponad 49 tys. próbek pobranych z terenów użytków rolnych całego kraju. Dodatkowo przebadano



Rys. 6. Aktualne zagrożenie erozją wodną powierzchnią obszaru Polski (2000 r.)
Źródło: Wawer R., Nowocien E., 2006 (33).

próbki gleby w 216 punktach kontrolno-pomiarowych zlokalizowanych na terenie całego kraju w latach 1995, 2000 i 2007 w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (29).

Wieloletnie badania nad występowaniem metali ciężkich i siarki w glebach pozwoliły na opracowanie granicznych zawartości tych pierwiastków w glebach odpowiadających różnym stopniom ich zanieczyszczenia. W oparciu o wyniki badań zawartości metali ciężkich i siarki w glebach użytków rolnych w kraju i opracowane normatywy dokonano oceny stanu ich zanieczyszczenia metalami ciężkimi i siarką. Na podstawie powyższych danych i aktualnie obowiązujących w Polsce przepisów prawnych (23) można stwierdzić, że ponad 99% powierzchni użytków rolnych w skali kraju

spełnia kryteria zawartości metali wymaganych dla gleb rolniczych. W przypadku siarki gleby zanieczyszczone tym składnikiem stanowią około 4% powierzchni użytkowanej rolniczo, a gleby o niskiej zawartości tego składnika około 60%.

W pracach związanych z ochroną gleb określono zależności między niektórymi czynnikami środowiskowymi i antropogenicznymi a szybkością rozkładu wielocyklicznych węglowodorów aromatycznych (WWA) oraz ich pobieraniem przez rośliny uprawne. Dokonano również oceny występowania WWA w wybranych jednostkach typologicznych gleb użytków rolnych oraz rejonów kraju. Wyniki uzyskanych badań wykorzystane zostały do opracowania zasad oceny zanieczyszczenia gleb związkami WWA.

Ocena stanu agrochemicznego gleb Polski oraz opracowanie zasad zrównoważonego zarządzania składnikami pokarmowymi na poziomie pola, gospodarstwa i regionu

Z punktu widzenia kształtowania środowiska rolniczego ważną rolę odegrały prace nad rozpoznaniem stanu agrochemicznego gleb kraju oraz opracowanie zasad i technik zrównoważonego nawożenia. Ocenę odczynu i żyzności gleb Polski w przyswajalne dla roślin formy fosforu, potasu i magnezu przeprowadzono we współpracy z OSCH-R. Uzyskane wyniki pozwoliły na diagnozę stanu aktualnego i wskazanie pojawiających się zagrożeń dla potencjału rolniczej przestrzeni produkcyjnej związanych z ekstensyfikacją nawożenia mineralnego.

Wiele badań prowadzonych w Instytucie jest uwarunkowanych regulacjami prawnymi zawartymi w ustawie o nawozach i nawożeniu (31), gdyż IUNG-PIB jest jednostką prawnie upoważnioną do opiniowania przydatności rolniczej nawozów mineralnych, środków wapnujących, środków wspomagających uprawę roślin i różnego rodzaju odpadów. Do dokonań Instytutu należy też zaliczyć rozpoznanie, we współpracy z OSCH-R, zasobności gleb kraju w mikroelementy. Rozpoznanie to stanowiło podstawę sformułowania odpowiednich zaleceń dotyczących nawożenia tymi składnikami.

W ostatnich latach badania naukowe z zakresu kształtowania środowiska przeniesiono na poziom regionów hydrograficznych – zlewni drugiego rzędu – ze względu na fakt, że zagrożenia środowiskowe związane z rolnictwem odnoszą się przede wszystkim do jego wpływu na jakość wody.

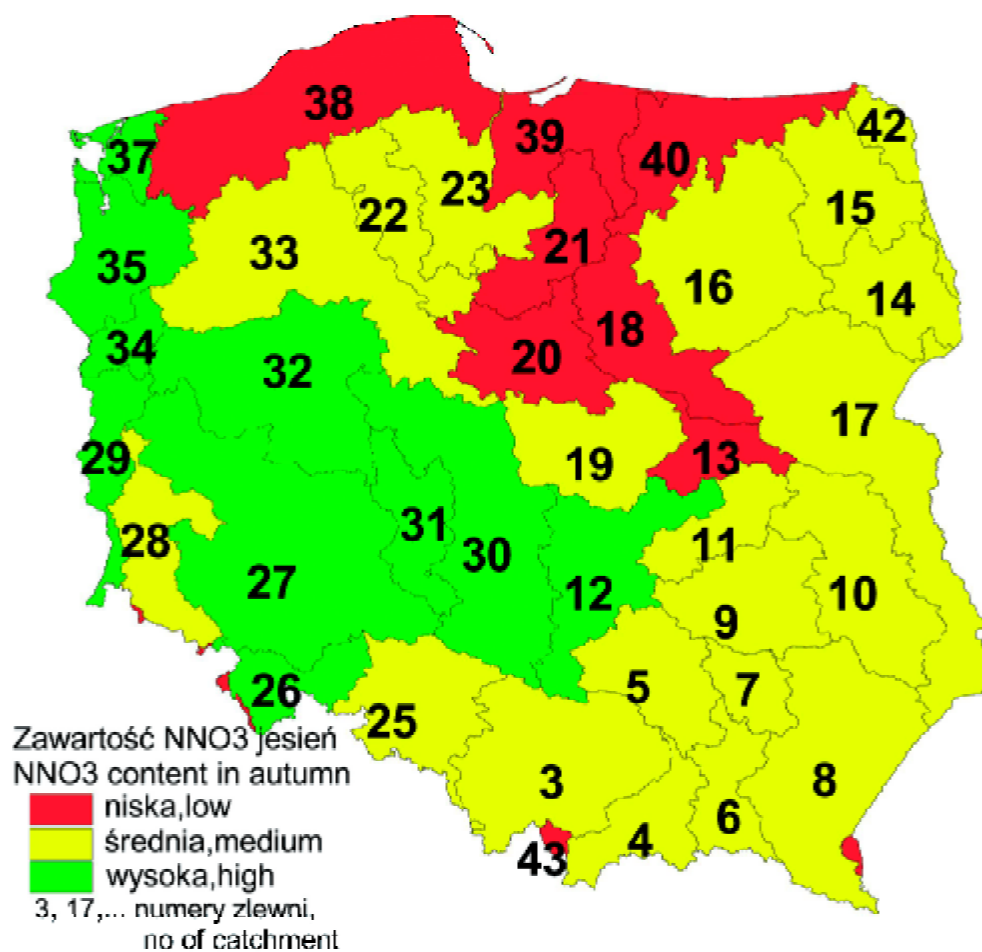
Pod koniec lat 90. na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi rozpoczęto monitoring gleb na zawartość azotu mineralnego (N_{min}). Na terenie całej Polski wytypowano około 5000 punktów monitoringowych w układzie zlewni drugiego rzędu (tab. 3). W punktach tych pobierano próbki gleby wiosną i jesienią, oznaczając w nich zawartość N_{min} w profilu glebowym. Wyniki tych badań ukazały się w formie dwóch obszernych syntez (5, 6). Badania monitoringowe pozwoliły na ocenę zawartości azotu w glebach Polski w okresie wiosny i jesieni oraz dały podstawę do opracowania przedziałów zawartości azotu mineralnego (rys. 7, tab. 4).

Tabela 3

Wykaz regionów hydrograficznych (zlewni drugiego rzędu)

Numer zlewni	Region hydrograficzny
1.	Polska
2.	Zlewnia Wisły
3.	Wisła od źródeł do ujścia Dunajca
4.	Dorzecze Dunajca
5.	Wisła od ujścia Dunajca do ujścia Wisłoki
6.	Dorzecze Wisłoki
7.	Wisła od ujścia Wisłoki do ujścia Sanu
8.	Dorzecze Sanu
9.	Wisła od ujścia Sanu do ujścia Wieprza
10.	Dorzecze Wieprza
11.	Wisła od ujścia Wieprza do ujścia Pilicy
12.	Dorzecze Pilicy
13.	Wisła od ujścia Pilicy do ujścia Narwi
14.	Narew od źródeł do ujścia Biebrzy
15.	Dorzecze Biebrzy
16.	Narew od ujścia Biebrzy do ujścia Bugu
17.	Dorzecze Bugu
18.	Narew od ujścia Bugu do ujścia Wisły
19.	Wisła od ujścia Narwi do ujścia Bzury
20.	Wisła od ujścia Bzury do ujścia Drwęcy
21.	Dorzecze Drwęcy
22.	Wisła od ujścia Drwęcy do ujścia Brdy
23.	Wisła od ujścia Brdy do ujścia do Bałtyku
24.	Dorzecze Odry
25.	Odra od granicy do ujścia Nysy Kłodzkiej
26.	Dorzecze Nysy Kłodzkiej
27.	Odra od ujścia Nysy Kłodzkiej do ujścia Bobru
28.	Dorzecze Bobru
29.	Odra od ujścia Bobru do ujścia Warty
30.	Warta od źródeł do ujścia Prosny
31.	Dorzecze Prosny
32.	Warta od ujścia Prosny do ujścia Noteci
33.	Dorzecze Noteci
34.	Warta od ujścia Noteci do ujścia do Odry
35.	Odra od ujścia Warty do ujścia do Zalewu Szczecińskiego
36.	Dorzecze Rzek Przymorza
37.	Zlewnia Zalewu Szczecińskiego
38.	Dorzecze rzek Przymorza Zachodniego do ujścia do Wisły
39.	Zlewnia Zalewu Wiślanego (bez dorzecza Wisły)
40.	Dorzecze Pregoly
41.	Pozostałe Dorzecza
42.	Dorzecze Niemna
43.	Inne rzeki

Źródło: Igras J., 2004 (11).



Rys. 7. Przeciętna zawartość azotu mineralnego w glebach Polski; oznaczenia zlewni jak w tabeli 3
Źródło: Fotyma E. i Fotyma M., 2006 (6).

Tabela 4

Klasy zawartości azotu mineralnego w glebach Polski

Kategoria agronomiczna gleby	Zawartość N _{min} w warstwie 0-90 cm gleby w kg N · ha ⁻¹				
	bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Bardzo lekka	<40	41-55	56-73	74-101	>101
Lekka	<51	52-70	71-90	91-123	>123
Średnia	<58	59-79	80-103	104-139	>139
Ciężka	<61	62-83	84-107	108-145	>145

Źródło: Fotyma E. i Fotyma M., 2006 (6).

Zawartość azotu mineralnego w okresie wiosny pozwala na uściślenie wielkości dawek nawozów azotowych, a jego zawartość w okresie jesieni ma duże znaczenie ze względu na możliwe zagrożenia środowiska nadmiarem azotanów. Różnica zawartości $N_{\min}$ w profilu glebowym pomiędzy jesienią i wiosną może służyć do oceny wielkości strat azotu w wyniku wymywania tego składnika z gleby.

Monitoring azotu mineralnego kontynuowany jest nadal, a jego wyniki służą zarówno doradztwu nawozowemu, jak i ocenie zagrożeń nadmiarem azotu w skali regionalnej i na poziomie całego kraju.

W ostatnich latach dokonano także oceny zawartości materii organicznej w glebach, jako jednego z podstawowych elementów żyzności gleby. Ilość materii organicznej w glebach jest podstawowym wskaźnikiem oceny ich jakości, decydującym o właściwościach fizykochemicznych, takich jak zdolności sorpcyjne i buforowe oraz o procesach przemian biologicznych ważnych z punktu widzenia funkcjonowania siedliska, a określanych mianem aktywności biologicznej. Wysoka zawartość próchnicy w glebach jest czynnikiem stabilizującym ich strukturę, zmniejszającym podatność na zagęszczenie oraz degradację w wyniku erozji wodnej i wietrznej (3, 32). W ostatnich latach przeprowadzono wstępną analizę trendu zmian zawartości próchnicy w glebach na podstawie powtórnych badań profili wzorcowych (25). Badania wykazały istnienie silnego trendu spadku zawartości próchnicy, głównie w glebach wyjściowo zasobnych w materię organiczną. Spadek zawartości materii organicznej związany jest ze zmianą stosunków wodnych gleb, bardziej intensywnym użytkowaniem i odwodnieniem melioracyjnym. Dla kontrastu – w dużej części gleb lekkich na przestrzeni ostatnich 30 lat zachodzi wzrost zawartości próchnicy związany ze wzrostem poziomu nawożenia nawozami naturalnymi oraz przyrostem ilości resztek poźniwnych.

Badania z zakresu oceny elementów żyzności gleby są podstawą formułowania szeregu opinii o gospodarce nawozowej, a także, obok wyników doświadczeń nawozowych, przesłankami doskonalenia kolejnych wersji systemów doradztwa nawozowego. Warto podkreślić, że ostatnie wersje doradztwa nawozowego IUNG (NAW-3, AGRONOM, NAWSALD, a także system MACROBIL) pozwalają na sporządzanie bilansów składników pokarmowych jako wskaźnika stopnia zrównoważonego gospodarowania oraz umożliwiają ocenę zagrożeń dla środowiska przyrodniczego. Najnowszą wersją doradztwa nawozowego NAWSALD jest uniwersalnym narzędziem umożliwiającym wspieranie decyzji rolnika w zakresie zrównoważonego gospodarowania składnikami pokarmowymi na poziomie pola i gospodarstwa oraz na optymalizację dawek nawozów pod wszystkie rośliny uprawne.

Ocena wpływu rolnictwa na jakość wody oraz udział rolnictwa w emisji składników biogenicznych do Bałtyku

Zagadnienia oddziaływania rolnictwa na jakość wody odgrywały istotną rolę w działalności badawczej Instytutu. Badania nad składem chemicznym wód drenarskich rozpoczęto w Polsce pod koniec lat 60. i na początku 70. W okresie tym nasiliły się bowiem zagrożenia związane z intensyfikacją rolnictwa, głównie ze stosowaniem

dużych dawek nawozów. W kolejnych latach badania te kontynuowano, oceniając wymywanie składników pokarmowych w wodach rzecznych (20) i opadowych (19) oraz w badaniach lizymetrycznych (18).

Pod koniec lat 90. rozpoczęto regularny monitoring jakości płytkich wód gruntowych na szeroką skalę, w ponad 3500 punktach monitoringowych zlokalizowanych na polach produkcyjnych, w sieci około 770 gospodarstw kontrolnych (11). Sieć gospodarstw kontrolnych zlokalizowano w warunkach reprezentatywnych dla poszczególnych zlewni. W wyniku badań monitoringowych dokonano klasyfikacji płytkich wód glebowo-gruntowych na podstawie analizy rozkładu zawartości składników mineralnych (tab. 5). Oceniono także jakość wód drenarskich w układzie regionalnym w skali zlewni (rys. 8 i 9).

Tabela 5

Granice klas jakości wód drenarskich w Polsce w stosunku do składników biogenicznych ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$)

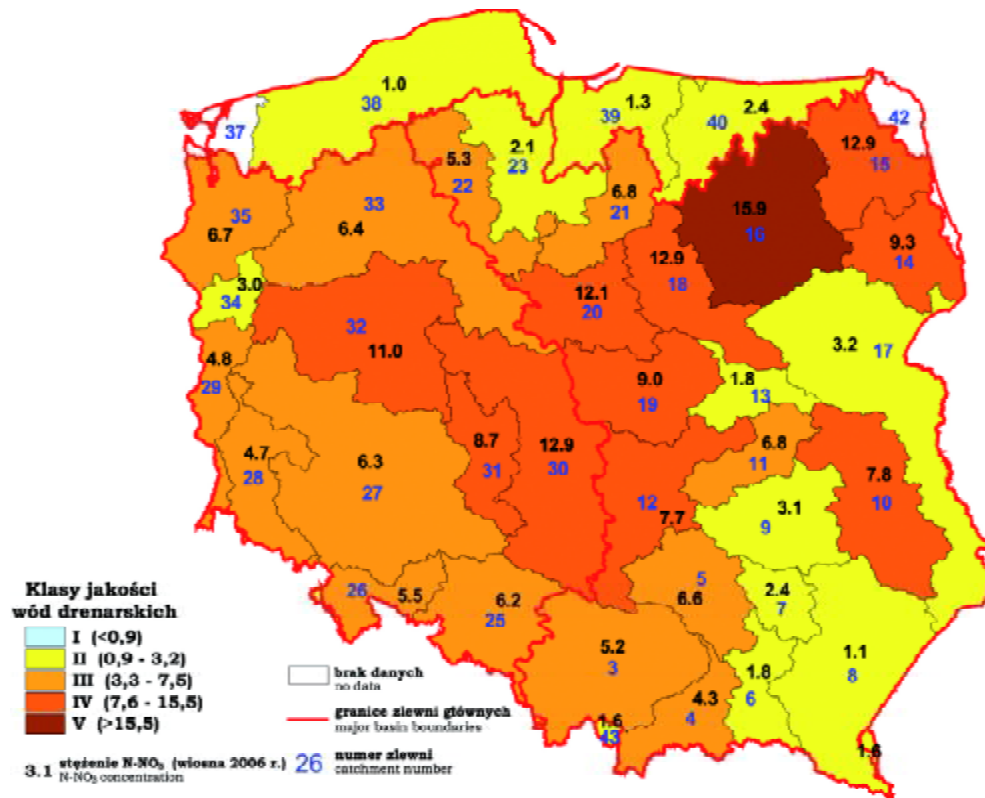
Składnik	Klasy jakości wód drenarskich w Polsce				
	I	II	III	IV	V
N-NO ₃	< 0,9	0,9-3,2	3,3-7,5	7,6-15,5	> 15,5
PO ₄	< 0,1	0,1-0,2	0,3-0,4	0,5-3,3	> 3,3

Źródło: Igras J., 2004 (11).

Jednym z najnowszych osiągnięć Instytutu dokonanych w ramach realizacji programu wieloletniego pt. „Kształtowanie środowiska rolniczego Polski oraz zrównoważony rozwój produkcji rolniczej” jest wieloaspektowa ocena udziału rolnictwa w rozpraszaniu składników biogenicznych do środowiska, a przede wszystkim do wód (12). Rolnictwo jest jedną z dziedzin gospodarki, która istotnie oddziałuje na środowisko przyrodnicze. Azot i fosfor są podstawowymi składnikami nawozowymi odgrywającymi zasadniczą rolę zarówno w produkcji roślinnej, jak i zwierzęcej.

Problematyka wpływu rolnictwa na jakość wody jest aktualnie przedmiotem wielu programów badawczych zarówno krajowych, jak i zagranicznych. Istnieje bowiem wiele rozbieżności, a nawet skrajnych opinii w zakresie oceny skutków środowiskowych dla jakości wód, jakie tworzy szeroko rozumiana gospodarka rolna. W znacznym stopniu wynika to z trudności metodycznych związanych z oszacowaniem wielu złożonych czynników determinujących procesy, jakim podlegają substancje biogeniczne w długiej drodze od pola uprawnego do Morza Bałtyckiego. Istnieje zatem pilna potrzeba miarodajnej, kompleksowej oceny udziału rolnictwa w zanieczyszczeniu Bałtyku w kontekście dotychczas przeprowadzonych badań, także w wymiarze międzynarodowym, bowiem spośród państw zamieszkujących zlewisko Bałtyku Polska jest jego największym użytkownikiem.

Bałtyk jest morzem śródlądowym o bardzo małej wymianie wód z Oceanem Atlantyckim. Powierzchnia Bałtyku wynosi około 0,415 mln km² i jest około 4-krotnie mniejsza od powierzchni jego zlewiska (ok. 1,72 mln km²). W zlewisku Morza Bałtyckiego położonych jest 14 krajów, w których zamieszkuje ponad 84 mln ludzi. Większość

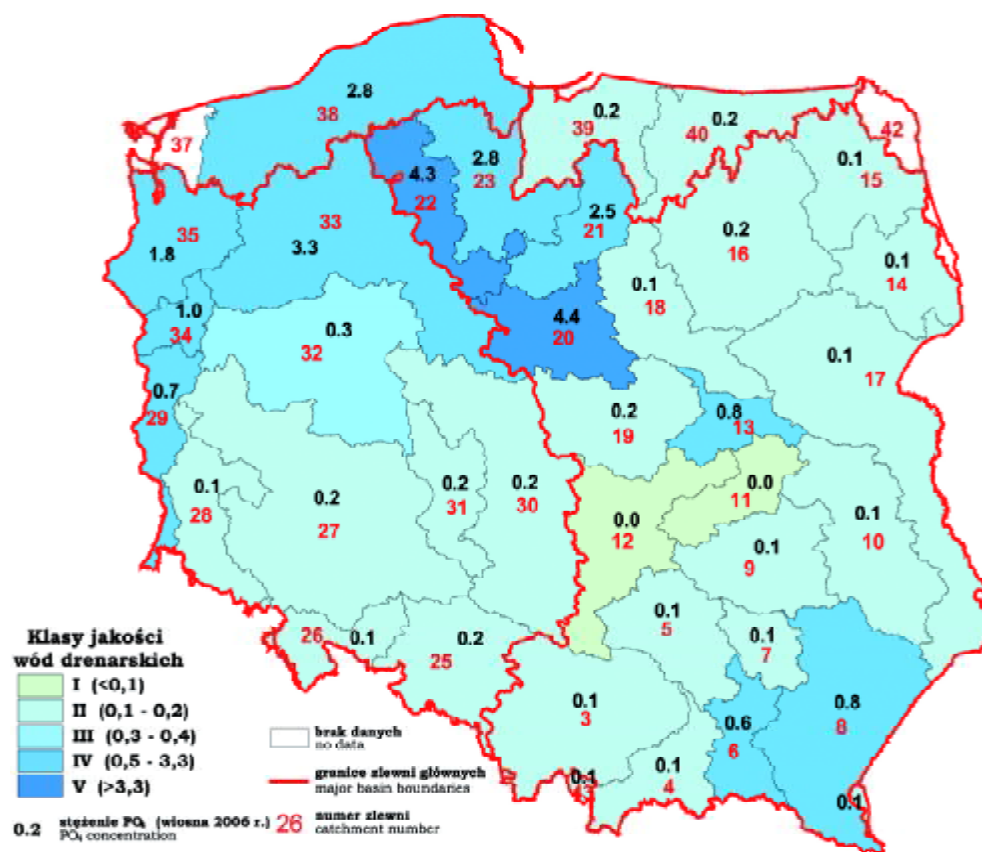


Rys. 8. Przeciętna zawartość N-NO₃ w wodach drenarskich w latach 2003–2006; oznaczenia zlewni jak w tabeli 3

Źródło: Igras J., 2004 (11).

z tych państw jest wysoko zurbanizowana i uprzemysłowiona, posiada także intensywne rolnictwo. Uwarunkowania te wpływają na silną antropopresję, wyrażającą się rozpraszaniem dużej ilości substancji przemieszczających się drogą powietrzną (w postaci opadu z atmosfery) lub wodną (jako dopływ rzeczny) do Morza Bałtyckiego. W grupie tych substancji szczególne znaczenie mają związki azotu i fosforu, określane jako substancje biogeniczne, których nadmiar powoduje pogorszenie jakości wody i niekorzystne zmiany w mikroflorze i faunie morskiej.

Polska zajmuje istotne miejsce w grupie 14 państw położonych w zlewisku Bałtyku z uwagi na duży udział (ok. 18%) w całkowitej powierzchni zlewiska, bardzo duży udział w liczbie zamieszkującej ludności (ok. 45%) i rolniczy charakter, gdyż tereny użytkowane rolniczo zajmują około 60% powierzchni kraju (rys. 10). W związku z tym Polska jest obciążana odpowiedzialnością za ładunek około 26% ogólnej ilości związków azotu i około 37% ogólnej ilości związków fosforu zanieczyszczających Morze Bałtyckie. Uważa się ponadto, że znaczna część tych związków pochodzi z rolnictwa i przemieszcza się do Bałtyku z wodami rzek.

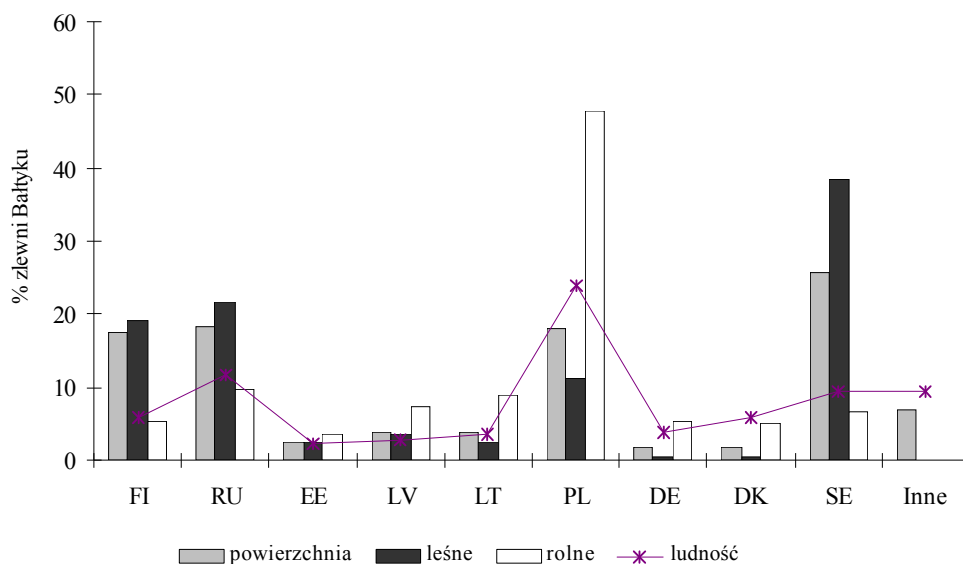


Rys. 9. Przeciętna zawartość PO_4 w wodach drenarskich w latach 2003–2006;
oznaczenia zlewni jak w tabeli 3

Źródło: Igras J., 2004 (11).

Polska, podobnie jak i inne kraje, podejmuje od wielu lat działania zmierzające do ograniczenia dopływu substancji biogennych do wód powierzchniowych i podziemnych, przeznaczając znaczne środki na ochronę środowiska zarówno z budżetu krajowego, jak i programów międzynarodowych.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że w wymiarze bezwzględny odpływ związków azotu i fosforu rzekami z obszaru Polski jest największy spośród 9 krajów zlewiska morza Bałtyckiego i wynosi obecnie około 144 tys. ton N i 8,9 tys. ton P, co stanowi odpowiednio ok. 25% całkowitej ilości związków azotu i ok. 30% ilości związków fosforu zrzucanych do Bałtyku z całego obszaru zlewiska (12). Uwzględniając duży potencjał obszarowy (18% całego obszaru zlewiska) i ludnościowy (45% ogółu ludności zamieszkujących zlewisko) Polski, jednostkowe straty substancji biogenicznych należą do jednych z najmniejszych i wynoszą odpowiednio około 3,7 kg N i 0,23 kg P na 1 mieszkańca oraz 4,6 kg N i 0,27 kg P na 1 ha powierzchni całkowitej naszego kraju (rys. 11 i 12). Rzeki w Polsce płyną z reguły w naturalnych korytach,

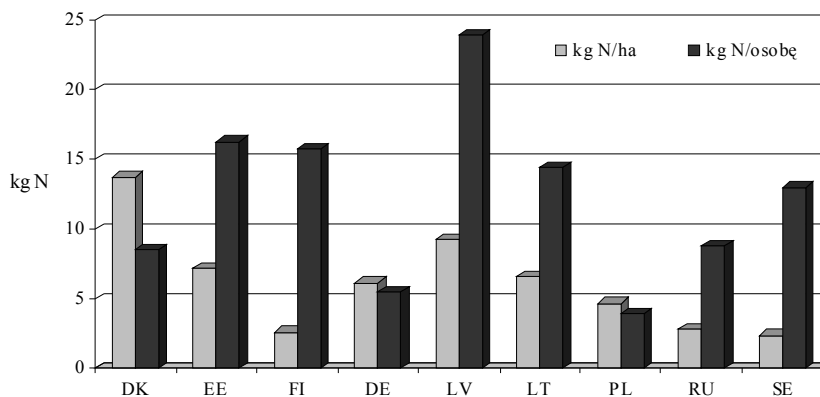


Rys. 10. Procentowy udział powierzchni ogólnej, gruntów rolnych, lasów i ludności w ogólnych wartościach dla zlewni Bałtyku

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych HELCOM, 2004 (10).

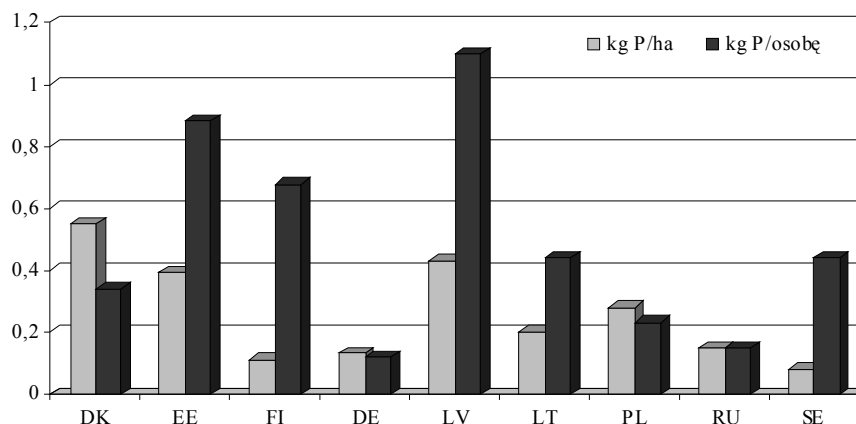
gdyż nie są uregulowane, a największe rzeki Odra i Wisła uchodzą do morza poprzez duże estuaria. Sprzyja to bardzo dużej retencji związków azotu i fosforu i wydatnie zmniejsza ich rejestrowane straty do Bałtyku. Badania IUNG-PIB obiektywizują więc w dużym stopniu niekorzystne dla Polski opinie i dają argumenty do ich prawidłowej oceny.

Przedstawiony przegląd obejmuje tylko ważniejsze kierunki działalności IUNG i wynikające z nich osiągnięcia. Analiza wskazuje jednak w sposób wyraźny, że



Rys. 11. Jednostkowe, na 1 ha i 1 mieszkańca, ładunki azotu odprowadzone do Bałtyku w 2005 roku

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych HELCOM, 2004 (10).



Rys. 12. Jednostkowe, na 1 ha i 1 mieszkańca, ładunki fosforu odprowadzone do Bałtyku w 2005 r. Źródło: opracowanie własne na podstawie danych HELCOM, 2004 (10).

w całym okresie działalności Instytutu problemy kształtowania środowiska rolniczego odgrywały znaczącą rolę. W ostatnich latach badania środowiskowe zostały poszerzone i wzbogacone o nowe problemy i obszary badawcze. Jest to konsekwencją uznania koncepcji rozwoju zrównoważonego za nadrzędne kryterium działalności naukowo-badawczej i wdrożeniowo-upowszechnieniowej Instytutu, co jest ściśle związane z rozwojem współpracy międzynarodowej, jak również procesami integracji europejskiej. Tendencje te znajdują odzwierciedlenie w programie działalności statutowej IUNG pt. „Zrównoważony rozwój produkcji roślinnej i kształtowanie przestrzeni rolniczej Polski”. W strukturze tego programu, złożonego z 4 podprogramów, problemy kształtowania środowiska rolniczego zajmują znaczące miejsce (tab. 6).

Warto podkreślić, że w IUNG-PIB problemy kształtowania środowiska analizowane są w sposób kompleksowy i wieloaspektowy. Instytut realizuje także program wieloletni pt. „Kształtowanie środowiska rolniczego Polski oraz zrównoważony rozwój produkcji rolniczej”. Program umożliwia wsparcie decyzji Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi oraz władz regionalnych dla realizacji celów i priorytetów Narodowego Planu Rozwoju Polski, przyczyniając się do realizacji, powszechnie akceptowanej, koncepcji rozwoju zrównoważonego. Głównym celem tego programu jest wspieranie decyzji w zakresie kształtowania środowiska rolniczego oraz zrównoważonego rozwoju produkcji roślinnej, bezpiecznej dla zdrowia ludzi i zwierząt. Program Wieloletni obejmuje 9 zadań dotyczących kształtowania środowiska rolniczego zgodnie z koncepcją rozwoju zrównoważonego (ekorozwoju); (tab. 7) oraz 9 zadań ukierunkowanych na technologie produkcji roślinnej.

Zadania te dotyczą przede wszystkim opracowania wskaźników oceny zrównoważonego gospodarowania zasobami środowiska rolniczego, oceny gospodarki nawozowej i wybranych elementów żyzności gleby, oceny zagrożeń dla środowiska rolniczego oraz opracowania sposobów usuwania lub ograniczania skutków degradacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Ich realizacja oparta jest na wykorzystaniu danych

Tabela 6

Zakres i cele oraz przewidywane efekty programu
pt. „Zrównoważony rozwój produkcji roślinnej i kształtowanie przestrzeni rolniczej Polski”

Lp.	Podprogramy	Cel badań
1.	Biologiczne i siedliskowe uwarunkowania produkcji roślinnej oraz pozytywnego wpływu surowców roślinnych o pożądanej jakości	Rozpoznawanie wpływu uwarunkowań biologicznych i siedliskowych na przebieg procesów warunkujących poziom i jakość produkcji roślinnej
2.	Opracowanie efektywnych i bezpiecznych dla środowiska technologii produkcji podstawowych ziemiopłodów	Opracowanie technologii produkcji roślinnej jako podstawowego elementu dobrej praktyki rolniczej
3.	Przyrodnicze i ekonomiczno-organizacyjne uwarunkowania produkcji rolniczej w gospodarstwach rolnych	Opracowanie zasad organizacji i funkcjonowania gospodarstw rolniczych, umożliwiających realizację celów zrównoważonego rozwoju w różnych warunkach przyrodniczych i ekonomiczno-organizacyjnych
4.	Kształtowanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce z uwzględnieniem regionalizacji produkcji roślinnej	Tworzenie podstaw nowoczesnych systemów dostarczania rolnictwu i instytucjom z jego otoczenia odpowiednich informacji niezbędnych do planowania, prowadzenia i oceny skutków produkcji roślinnej

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 7

Zakres zadań dotyczących kształtowania środowiska w ramach realizacji programu wieloletniego

Lp.	Zadania
1.	Wykorzystanie zintegrowanego systemu informacji o środowisku rolniczym Polski do wspierania decyzji w zakresie Planu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW) i zrównoważonego wykorzystania zasobów przyrody
2.	Opracowanie wskaźników oceny zrównoważonego gospodarowania zasobami środowiska rolniczego
3.	Monitoring wykorzystania i kształtowania przestrzeni rolniczej z uwzględnieniem koncepcji wielofunkcyjnego rozwoju i specyfiki obszarów problemowych
4.	Analiza zmian w gospodarowaniu ziemią oraz ocena przekształceń strukturalnych na obszarach wiejskich
5.	Ocena żyzności gleb Polski z uwzględnieniem ich właściwości chemicznych, fizycznych i biologicznych
6.	Doskonalenie metod oceny zagrożeń dla środowiska rolniczego oraz opracowanie sposobów usuwania lub ograniczania skutków degradacji
7.	Kształtowanie ogólnokrajowych zasad agrochemicznej obsługi rolnictwa we współpracy ze Stacją Chemiczno-Rolniczą
8.	Ocena rolniczej przydatności nowych nawozów i innych substancji przeznaczonych do poprawy żyzności gleby
9.	Monitoring skutków środowiskowych Planu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW)

Źródło: opracowanie własne.

zgrupowanych przez kilkadziesiąt lat w Zintegrowanym Systemie Informacji o Rolniczej Przestrzeni Produkcyjnej (26).

Podsumowanie

Ogólnie można stwierdzić, że działalność IUNG-PIB w zakresie kształtowania środowiska rolniczego była i jest ukierunkowana na problemy dotyczące wzajemnych relacji ludzi i środowiska przyrodniczego, analizowanych przez pryzmat zrównoważonego rozwoju. Relacje te są pochodnymi funkcji realizowanych obecnie przez ludność mieszkającą na obszarach wiejskich. Badania naukowe Instytutu wspierają ideę rozwoju zrównoważonego, wskazując działania niezbędne do prawidłowego kształtowania relacji człowiek – środowisko przyrodnicze oraz wyjaśniając mechanizmy złożonych zależności i współdziałań w tym zakresie. Pozwoliły one na specyfikację cech rolnictwa zrównoważonego na różnych poziomach zarządzania. Na poziomie kraju do cech takich należy zaliczyć m.in.: racjonalne wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej i utrzymanie potencjału produkcyjnego gleb oraz zachowanie bioróżnorodności, a także zapewnienie samowystarczalności i bezpieczeństwa żywnościowego kraju. Problemy te są rozpatrywane przez pryzmat uwarunkowań przyrodniczo-agrotechnicznych i organizacyjno-ekonomicznych. Ważną cechą rolnictwa zrównoważonego jest też dążenie do ograniczania lub eliminacji zagrożeń dla środowiska naturalnego. Analizy prowadzone w ramach programu wieloletniego wykazały, że aby realizować ideę rozwoju zrównoważonego w skali kraju trzeba rozpoznać aktualne i przyszłe źródła zagrożeń i podejmować działania zapobiegawcze lub zapewniające rekultywację terenów zdegradowanych.

Przedstawiony przegląd obejmuje tylko ważniejsze kierunki działalności i osiągnięcia IUNG-PIB. Analiza wskazuje jednak w sposób wyraźny, że w całym okresie działalności Instytutu problemy kształtowania środowiska rolniczego odgrywały znaczącą rolę. Konieczność kształtowania środowiska rolniczego równoległe z procesami jego użytkowania wymaga kompleksowego podejścia do zarządzania przestrzenią rolniczą w oparciu o zastosowanie technologii informatycznych, integrujących informację przestrzenną. Zintegrowane zarządzanie rolniczą przestrzenią produkcyjną jest także bardzo istotne z punktu widzenia wspierania polityki regionalnej.

W perspektywie zmian klimatu istnieje także konieczność innego podejścia do rolniczej przestrzeni produkcyjnej i wykorzystania metod modelowania umożliwiających dynamiczny opis relacji pomiędzy plonowaniem różnych gatunków roślin a parametrami jakości gleb i klimatu. Przeprowadzone analizy wskazują także na istotną rolę czynników technologicznych i organizacyjnych w wykorzystaniu potencjału siedliska oraz w kompensacji ograniczeń wynikających z uwarunkowań glebowo-przyrodniczych.

W ramach wdrażania wspólnotowej polityki ochrony gleb istotnym zagadnieniem pozostaje wydzielenie obszarów zagrożonych różnymi formami degradacji oraz opracowanie adekwatnych programów zapobiegawczych. Dotyczy to między innymi takich zagrożeń, jak: spadek zawartości materii organicznej, erozja, zagęszczenie gleb

oraz ich zanieczyszczenie. Poważnym zagrożeniem dla jakości gleb w Polsce jest około 50% udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych w powierzchni użytków rolnych, prowadzący do uruchamiania metali śladowych w środowisku. Jedną z konsekwencji zakwaszenia gleb jest nadmierna akumulacja niektórych metali w roślinach. Znajduje to potwierdzenie w przedstawionych wynikach badań monitoringowych, przy czym zjawisko to dotyczy nie tylko obszarów przemysłowych, ale również rolniczych charakteryzujących się zawartością metali w glebach na poziomie tła naturalnego.

W zakresie oddziaływania rolnictwa na jakość wody bardzo istotnym zagadnieniem jest ocena wielkości i udziału zanieczyszczeń obszarowych w ogólnej emisji zanieczyszczeń. Zagadnienie to wymaga dalszych badań ze względu na zmieniającą się funkcję obszarów wiejskich jako terenów służących nie tylko produkcji rolniczej, ale także funkcjom osiedleńczym i rekreacyjnym. W ocenie ryzyka zanieczyszczenia wód związanego z produkcją rolniczą należy wziąć pod uwagę fakt, że rolnictwo oparte jest w dużej mierze na ekstensywnym modelu organizacji produkcji, co wynika zarówno z rozdrobnienia gospodarstw, jak i struktury użytkowania ziemi. Istotnym elementem jest jednak znaczny wzrost zużycia nawozów mineralnych oraz środków ochrony roślin i koncentracja produkcji rolnej w niektórych rejonach kraju.

Reasumując można stwierdzić, że IUNG-PIB w ciągu 60 lat swojej działalności w sposób wyraźny przyczyniał się do kształtowania środowiska rolniczego i kreowania przyjaznych relacji człowiek – środowisko przyrodnicze. Podejmowane działania charakteryzowały się dużą troską o zachowanie potencjału produkcyjnego i walorów środowiska. Ich cechą charakterystyczną było, obok wskazywania zagrożeń, szereg propozycji rozwiązań przyjaznych dla środowiska rolniczego, możliwych do wdrożenia na różnych poziomach zarządzania i wspierania decyzji.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że badania IUNG-PIB w zakresie kształtowania środowiska znajdują zastosowanie w pracach Rządu RP oraz Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Korzyści praktyczne wynikające z badań Instytutu to przede wszystkim:

- wspieranie działań Rządu i Resortu rolnictwa w procesach negocjacyjnych z Unią Europejską,
- diagnoza i ocena zjawisk i tendencji zachodzących w rolnictwie w zakresie kształtowania środowiska i realizacji zrównoważonego rozwoju,
- kompleksowa ocena przewidywanych produkcyjnych i środowiskowych skutków PROW 2007–2013,
- prognozowanie zmian w wykorzystaniu rolniczej przestrzeni produkcyjnej i ich skutków dla gospodarki kraju i jej konkurencyjności na rynkach międzynarodowych.

Obok tego realizowano wiele celów poznawczych wzbogaconych o wiedzę o środowisku rolniczym w aspekcie różnych jego funkcji. Cele te były realizowane w ramach badań interdyscyplinarnych, co przyczyniło się do wieloaspektowej oceny rolniczej przestrzeni produkcyjnej.

Dotychczasowe osiągnięcia Instytutu w zakresie kształtowania środowiska rolniczego, duże zasoby informacji oraz bardzo dobry potencjał kadrowy są wyznacznika-

mi perspektywicznej pozycji Instytutu jako jednostki potrafiącej sprostać nowym wyzwaniom z tego zakresu.

Literatura

1. Dexter A. R.: Soil physical quality. Part 1. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 2004, **120**: 201-214.
2. Doroszewski A., Kozyra J., Pudełko R., Stuczyński T., Jadczyzyn J., Koza P., Łopatką A.: Monitoring suszy rolniczej w Polsce. *Wiad. Mel. Łąk.*, 2008, **(51)1**: 35-38.
3. Fenton T. E., Brown J. R., Maubach M. J.: Effects of long-term cropping on organic matter content of soils: Implication for soil quality. *Soil Water Con. J.*, 1999.
4. Filipiak K., Jadczyzyn J.: Kryteria wyboru i ocena obszarów problemowych rolnictwa w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2008, **12**: 103-111.
5. Fotyma E., Fotyma M., Pietruch Cz.: Zawartość azotu mineralnego w glebach gruntów ornych w Polsce. *Naw. Nawoż./Fert. Fertil.*, 2004, **3(20)**: 11-54.
6. Fotyma E., Fotyma M.: Normatywy zawartości azotu mineralnego w glebie i stężeń azotanów w roztworze glebowym gleb gruntów ornych w Polsce. *Naw. Nawoż./Fert. Fertil.*, 2006, **1(26)**: 44-56.
7. Fotyma M., Kuś J.: Oddziaływanie rolnictwa na środowisko glebowe. Ochrona i wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski. *IUNG Puławy*, 1997, **K(12/1)**: 155-171.
8. Górski T., Demidowicz G., Deputat T., Górski K., Marcinkowska I., Szpota W.: Empiryczny model plonowania pszenicy ozimej w funkcji czynników meteorologicznych. (Empirical model of winter wheat yield in the function of meteorological parameters). *Zesz. Nauk. AR Wrocław*, 1997, **313**: 254-260.
9. Górski T., Zaliwski A.: Model agroklimatu Polski. *Pam. Puł.*, 2002, **130(1)**: 251-260.
10. HELCOM.: The fourth Baltic Sea pollution load compilation (PLC-4) Balt. Sea Environ. Proc., 2004, **93**.
11. Igras J.: Zawartość składników mineralnych w wodach drenarskich z użytków rolnych w Polsce. *Monogr. Rozpr. Nauk. IUNG-PIB Puławy*, 2004, **13**.
12. Igras J., Jadczyzyn T.: Zawartość azotanów i fosforanów w płytkich wodach gruntowych w Polsce. *Probl. Inż. Rol.*, 2008, **2(60)**: 91-101.
13. Igras J., Pastuszek M. (red.): Udział rolnictwa polskiego w emisji związków azotu i fosforu do Bałtyku. *Wyd. IUNG-PIB Puławy*, 2009.
14. Jadczyzyn J.: Regionalne zróżnicowanie obszarów problemowych rolnictwa (OPR) w Polsce. *Instr. upowszechn.*, IUNG-PIB Puławy, 2009, **163**.
15. Kozyra J., Górski T.: Wpływ zmian klimatu na uprawę roślin w Polsce. W: *Klimat – środowisko – człowiek*. Wrocław, Polski Klub Ekologiczny, Okręg Dolnośląski, 2004.
16. Krasowicz S., Górski T., Budzyńska K., Kopinski J.: Charakterystyka rolnicza obszaru Polski. W: *Udział rolnictwa polskiego w emisji związków azotu i fosforu do Bałtyku*. Wyd. IUNG-PIB Puławy, 2009, 41-106.
17. Kukuła S.: Miejsce IUNG w kreowaniu postępu w produkcji roślinnej w Polsce. *Wiś Jutra*, 2003, **1**: 19-21.
18. Pondel H., Ruszkowska M., Sykut S., Terelak H.: Wymywanie składników nawozowych z gleb w świetle badań prowadzonych przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa. *Rocz. Glebozn.*, 1991, **3/4**: 97-106.
19. Pondel H., Terelak H.: Ocena strat składników mineralnych z gleb uprawnych w oparciu o skład chemiczny wód wypływających z drenów. W: *Skład chemiczny wód glebowych, gruntowych i powierzchniowych w warunkach intensywnej produkcji rolniczej*. Wyd. IUNG Puławy, 1984, **1**: 61-68.

20. P o n d e l H., T e r e l a k H.: Skład chemiczny wód drenarskich jako podstawa oceny strat składników mineralnych wymywanych do wód gruntowych. *Pam. Puł.*, 1981, **75**: 149-167.
21. P o s k r o b k o B.: Zarządzanie środowiskiem. PWE Warszawa, 1998.
22. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 maja 2007 roku w sprawie wartości klimatycznego bilansu wodnego dla poszczególnych gatunków roślin uprawnych i gleb. *Dz. U.* Nr 90, poz. 60.
23. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. *Dz. U.* Nr 165, poz. 1359.
24. S t u c z y ń s k i T., F i l i p i a k K., K o z y r a J., G ó r s k i T., J a d c z y s z y n J. (red.): Obszary o niekorzystnych warunkach gospodarowania w Polsce. IUNG-PIB Puławy, 2006.
25. S t u c z y ń s k i T., K o z y r a J., Ł o p a t k a A., J a d c z y s z y n J., K o z a P., D o r o s z e w s k i A., W a w e r R., N o w o c i e ń E.: Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2007, **7**: 77-117.
26. S t u c z y ń s k i T., K u k u ł a S., J a d c z y s z y n J., Z a l i w s k i A., G a w r y s i a k L., F e d o r o w i c z - J a c k o w s k i W., B i e l e c k a E., K u k ł a H.: System informacji o rolniczej przestrzeni produkcyjnej podstawą strategii rozwoju regionalnego. *Post. Nauk Rol.*, 2001, **4**: 109-127.
27. T e r e l a k H.: Główne osiągnięcia Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w zakresie badań środowiskowych. *Biul. Inf. IUNG*, 1998, **8**: 9-14.
28. T e r e l a k H., M o t o w i c k a - T e r e l a k T., M a l i s z e w s k a - K o r d y b a c h B., P i e t r u c h C z.: Monitoring chemizmu gleb ornych Polski. Program badań i wyniki 1995 i 2000. *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa, 2002.
29. T e r e l a k H., M o t o w i c k a - T e r e l a k T., S t u c z y ń s k i T., M a l i s z e w s k a - K o r d y b a c h B., P i e t r u c h C z.: Monitoring chemizmu gleb ornych Polski w latach 2005 i 2007. *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa, 2008.
30. T e r e l a k H., S t u c z y ń s k i T., P i o t r o w s k a M.: Heavy metals in agricultural soils in Poland. *Pol. J. Soil Sci.*, 1997, **30**: 35-42.
31. Ustawa dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu: *Dz. U.* Nr 147, poz. 1033.
32. V a n B a v e l C., S c h a l l e r F.: Soil aggregation, organic matter, and yields in a long-time experiment as affected by crop management. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1950, 15.
33. W a w e r R., N o w o c i e ń E.: Mapa erozji wodnej aktualnej w oparciu o CORINE Land Cover 2000. *Pam. Puł.*, 2006, **142**: 537-546.
34. W i t e k T., G ó r s k i T.: Przyrodnicza bonitacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce. *Wyd. Geologiczne*, Warszawa, 1977.

Adres do korespondencji:

doc. dr hab. Janusz Igras
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (81) 886 34 21
e-mail: ij@iung.pulawy.pl

Jan Kucharski, Jadwiga Wyszowska

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

ODDZIAŁYWANIE ROLNICTWA NA WŁAŚCIWOŚCI MIKROBIOLOGICZNE GLEB

Wstęp

Mikrobiologiczne właściwości gleb charakteryzowane są wieloma parametrami. Zaliczyć do nich można skład gatunkowy mikroorganizmów, ich liczebność, wielkość biomasy wyrażoną ilością węgla i azotu mikrobiologicznego, intensywność procesów oksydacyjno-redukcyjnych, w tym procesów: amonifikacji, nitrifikacji i denitrifikacji, aktywność enzymów odpowiedzialnych za transformację węgla, azotu, fosforu i siarki. Jako czynniki determinujące mikrobiologiczne właściwości gleb najczęściej wymieniana się: skład granulometryczny (33, 43), zawartość organicznych związków węgla (15, 39, 47) i azotu (39), pH (5, 45, 46), wilgotność (14), temperaturę (16), zasobność w składniki odżywcze oraz stan zanieczyszczenia związkami mineralnymi i organicznymi, np. metalami ciężkimi lub węglowodorami (40, 43). Właściwości biologiczne są zatem powiązane z właściwościami fizycznymi i chemicznymi gleb (30). Przy czym są mniej od nich trwałe i ulegają zmienności nie tylko sezonowej w okresie roku kalendarzowego, ale także zmieniają się w czasie wegetacji roślin (39, 41, 42, 47). Stąd wynikają trudności z prawidłową interpretacją wyników oznaczeń cech mikrobiologicznych, szczególnie wtedy, gdy liczba oznaczeń w okresie wegetacji roślin jest zbyt mała. Właściwości mikrobiologiczne mogą być także, w różnym stopniu, kształtowane sposobem użytkowania gleby (21), gatunkiem uprawianej rośliny (36, 37, 39) i jej fazą rozwojową (47, 53).

Mnogość czynników decydujących o mikrobiologicznych właściwościach gleb skłania do postawienia pytania – w jakim zakresie może je kształtować rolnictwo?

Właściwości mikrobiologiczne gleb a rolnictwo

Z wielu badań (3, 10, 20, 25, 26, 33, 38, 53) wynika, że niektóre parametry składające się na właściwości mikrobiologiczne gleb mogą być modyfikowane zarówno przez bezpośrednie oddziaływanie poszczególnych zabiegów agrotechnicznych na aktywność drobnoustrojów, jak i pośrednio poprzez zmianę właściwości fizycznych i chemicznych gleb. Takie zabiegi, jak: nawożenie, kompleksowa ochrona roślin, następstwo roślin, mechaniczna uprawa gleby mogą w różnym stopniu determinować prawi-

dłowy metabolizm gleby. Te zabiegi, które przyczyniają się do poprawy zasobności gleb w materię organiczną, np. nawożenie gnojowicą i obornikiem (tab. 1, 2) oraz słomą (tab. 3-5) w zdecydowanej większości przypadków poprawiają aktywność enzymów i zwiększają liczebność drobnoustrojów. Przy czym silniej działają w doświadczeniach wazonowych (15, 39) niż wykonanych w warunkach polowych (47). Jednak według *Carefoot i Janzena* (4) efektywność produkcyjna nawożenia słomą jest niewielka.

Nie zawsze zwiększenie ilości materii organicznej może prowadzić do korzystnych zmian we właściwościach biologicznych gleby. Przykładem może być negatywne oddziaływanie niektórych osadów ściekowych użytych do nawożenia (47). W zależności od ich pochodzenia mogą być one źródłem nie tylko składników pokarmowych, ale także źródłem metali ciężkich, WWA i PCB, a to przekłada się na poziom aktywności

Tabela 1

Aktywność enzymów w glebie nawożonej gnojowicą i obornikiem
(μmol lub mmol produktu $\cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby $\cdot \text{h}^{-1}$)

Nawożenie	Dehydrogenazy μmol TFF	Ureaza mmol N-NH_4^+	Fosfataza	
			kwaśna	alkaliczna
			mmol PNP	
Kontrola	5,90a	0,97c	0,31a	0,10a
Gnojowica	7,07b	0,94b	0,37b	0,10a
Obornik	7,59c	0,89a	0,40c	0,11b

Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie
Źródło: Kucharski, 1992 (15).

Tabela 2

Liczebność drobnoustrojów w glebie nawożonej gnojowicą i obornikiem ($\text{jtk} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby)

Nawożenie	Bakterie (B) $\cdot 10^9$	Promieniowce (P) $\cdot 10^9$	Grzyby (G) $\cdot 10^5$	$\frac{\text{B} + \text{P}}{\text{G}} \cdot 10^4$
Kontrola	20,50a	9,80a	70,10a	0,43a
Gnojowica	29,80b	11,80b	66,80a	0,62b
Obornik	27,50b	11,90b	86,80b	0,45a

Źródło: Kucharski, 1992 (15).

Tabela 3

Aktywność enzymów w glebie nawożonej słomą (μmol lub mmol produktu $\cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby $\cdot \text{h}^{-1}$)

Nawożenie	Dehydrogenazy μmol TFF	Ureaza mmol N-NH_4^+	Fosfataza	
			kwaśna	alkaliczna
			mmol PNP	
Kontrola	4,71a	0,48a	1,91a	0,96a
Słoma	7,99b	0,79b	2,33b	1,63b

Źródło: Wyszowska, 2002 (39).

Tabela 4

Liczebność drobnoustrojów w glebie nawożonej słomą ($\text{jtk} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby)

Nawożenie	Bakterie (B) $\cdot 10^9$	Promieniowce (P) $\cdot 10^9$	Grzyby (G) $\cdot 10^7$	$\frac{B+P}{G} \cdot 10^2$
Kontrola	12,05a	8,24a	1,00a	20,29b
Słoma	12,51a	12,87b	4,21b	6,03a

Źródło: Wyszowska, 2002 (39).

Tabela 5

Aktywność enzymów w glebie spod pszenicy ozimej w zależności od rodzaju nawożenia organicznego (μmol lub mmol produktu $\cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby $\cdot \text{h}^{-1}$)

Rodzaj nawożenia organicznego	Dehydrogenazy $\mu\text{mol TFF}$	Ureaza mmol N-NH_4^+	Fosfataza	
			kwaśna	alkaliczna
			mmol PNP	
Kontrola	15,27a	1,38b	2,22b	1,46a
Słoma	16,04b	1,38b	2,18a	1,47a
Słoma + wyłoki	15,14a	1,28a	2,39c	1,45a

Źródło: Wyszowska i in., 2009 (47).

niektórych enzymów glebowych. Badania własne (tab. 6) wskazują, że surowe osady ściekowe przede wszystkim hamują aktywność dehydrogenaz. Na pięć przetestowanych osadów aż cztery hamowało aktywność dehydrogenazy, a tylko jeden ureazę i żaden nie zmniejszał aktywności fosfataz, a wręcz przeciwnie – na fosfatazy, wprowadzie w różnym stopniu, osady ściekowe działały stymulująco.

Większość osadów wpływała także korzystnie na rozwój drobnoustrojów i wzajemne proporcje między poszczególnymi grupami mikroorganizmów (tab. 7). Stymu-

Tabela 6

Aktywność enzymów w glebie nawożonej osadami ściekowymi (μmol lub mmol produktu $\cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby $\cdot \text{h}^{-1}$)

Pochodzenie osadu	Dehydrogenazy $\mu\text{mol TFF}$	Ureaza mmol N-NH_4^+	Fosfataza	
			kwaśna	alkaliczna
			mmol PNP	
Kontrola	4,40d	1,77b	1,15a	0,77a
Biskupiec	1,62a	1,80bc	1,75d	1,26d
Lidzbark	11,19e	3,71f	1,63c	1,80g
Olsztyn	4,47d	2,44e	1,61c	1,44f
Gdańsk	3,48c	2,14d	1,53b	1,35e
Katowice	3,46c	1,88c	2,03e	1,11c
Warszawa	2,20b	1,42a	1,46b	0,96b

Źródło: Kucharski i in., 2000 (22).

lowały one namnażanie bakterii niezależnie od źródła pochodzenia. Prawie wszystkie osady działały pozytywnie na promieniowce, a tylko niektóre na grzyby.

Przykładem niejednoznacznego oddziaływania zwiększonej ilości materii organicznej na mikrobiologiczne właściwości gleby jest reakcja zarówno drobnoustrojów, jak i enzymów na zanieczyszczenie gleby substancjami ropopochodnymi (40, 43). Zanieczyszczenie gleby benzyną wyraźnie hamuje aktywność enzymów (rys. 1), a olejem napędowym stymuluje (rys. 2).

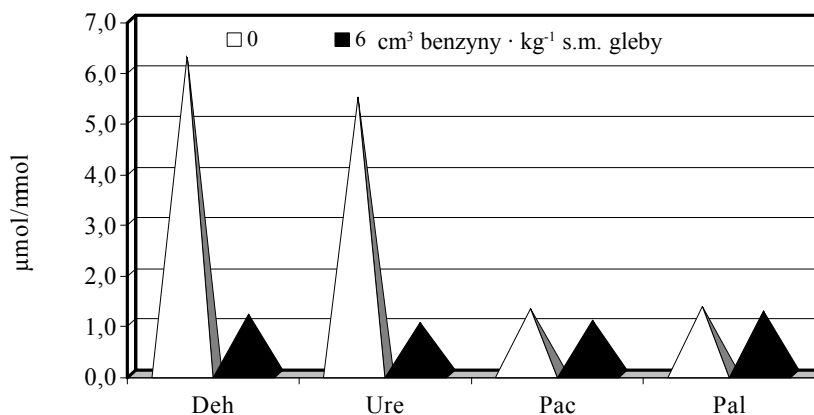
Mniejszy wpływ na drobnoustroje i enzymy glebowe wywiera nawożenie mineralne (20) niż organiczne, chociaż w niektórych doświadczeniach wazonowych (39) można

Tabela 7

Liczebność drobnoustrojów w zależności od nawożenia osadami ściekowymi
(jtk · kg⁻¹ s.m. gleby)

Pochodzenie osadu	Bakterie (B) · 10 ⁹	Promieniowce (P) · 10 ⁹	Grzyby (G) · 10 ⁶	$\frac{B+P}{G} \cdot 10^3$
Kontrola	19,38a	15,67b	5,19a	6,76c
Biskupiec	45,95e	23,67d	33,40d	2,08a
Lidzbark	37,29d	27,43e	4,44a	14,57e
Olsztyn	47,29e	23,57d	8,72c	8,13d
Gdańsk	23,86b	13,24a	5,43a	6,83c
Katowice	63,86f	32,47f	6,69b	14,41e
Warszawa	30,57c	19,81c	8,47c	5,95b

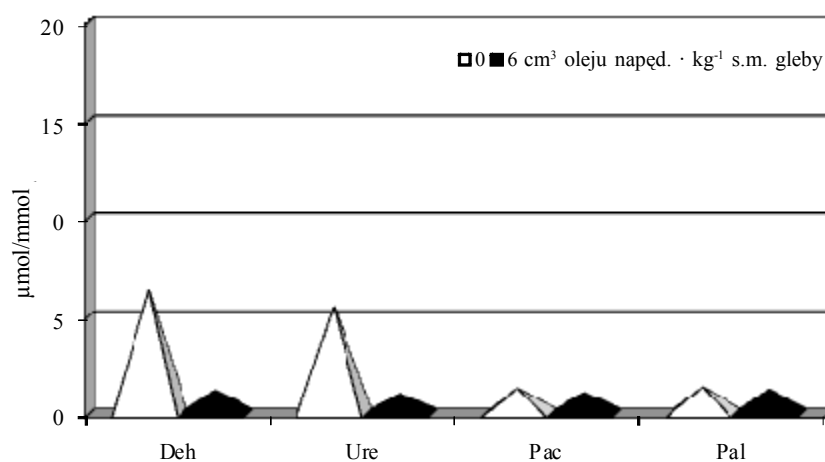
Źródło: Wyszowska i in., 2004 (48).



Rys. 1. Aktywność enzymów w glebie zanieczyszczonej benzyną
(μmol lub mmol produktu · kg⁻¹ s.m. gleby · h⁻¹).

Deh – dehydrogenazy (μmol TFF), Ure – ureaza (mmol N-NH₄⁺), Pac – fosfataza kwaśna (mmol PNP), Pal – fosfataza alkaliczna (mmol PNP)

Źródło: Wyszowska, Kucharski, 2000 (40).

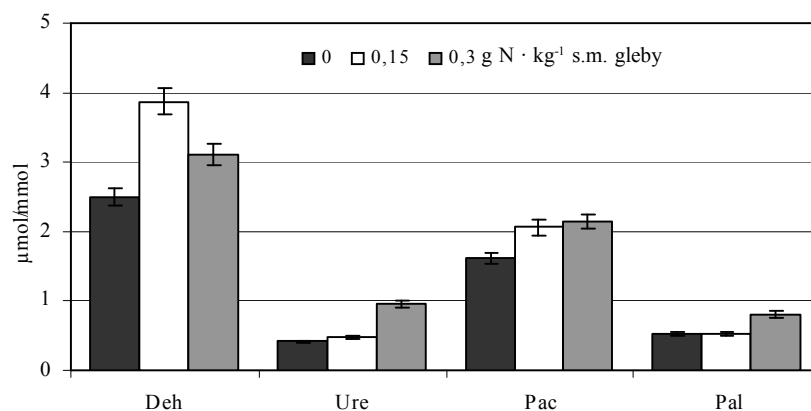


Rys. 2. Aktywność enzymów w glebie zanieczyszczonej (ON) olejem napędowym (μmol lub mmol produktu $\cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby $\cdot \text{h}^{-1}$)

Deh – dehydrogenazy (μmol TFF), Ure – ureaza (mmol N-NH_4^+), Pac – fosfataza kwaśna (mmol PNP), Pal – fosfataza alkaliczna (mmol PNP)

Źródło: Wyszowska, Kucharski, 2004 (43).

zaobserwować wysoce istotne pozytywne działanie nawożenia mocznikiem na dehydrogenazy, ureazę i fosfatazy (rys. 3) oraz na bakterie, promieniowce i grzyby (tab. 8).



Rys. 3. Aktywność enzymów w glebie w zależności od nawożenia azotem (μmol lub mmol produktu $\cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby $\cdot \text{h}^{-1}$)

Deh – dehydrogenazy (μmol TFF), Ure – ureaza (mmol N-NH_4^+), Pac – fosfataza kwaśna (mmol PNP), Pal – fosfataza alkaliczna (mmol PNP)

Źródło: Wyszowska, 2002 (39).

Tabela 8

Liczebność drobnoustrojów w zależności od nawożenia azotem (kg^{-1} s.m. gleby $\cdot \text{h}^{-1}$)

Dawka azotu $\text{g N} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby	Bakterie (B) $\cdot 10^9$	Promieniowce (P) $\cdot 10^9$	Grzyby (G) $\cdot 10^7$	$\frac{B + P}{G} \cdot 10^2$
0	12,05a	8,24a	1,00a	20,29a
0,15	12,72b	11,56b	1,17b	20,84b
0,30	12,89 b	11,24b	1,15b	21,03b

Źródło: Wyszowska, 2002 (39).

Oddziaływanie nawozów mineralnych, szczególnie fizjologicznie kwaśnych, może wynikać z ich bezpośredniego wpływu na drobnoustroje i enzymy oraz ze zmiany pH, które jest elementem warunkującym nie tylko rozwój mikroorganizmów (46), ale decydującym o aktywności enzymów (44).

Aktywność mikrobiologiczna gleby może być znacznie zmieniana przez uprawiane rośliny (tab. 9). Badania dowodzą, że aktywność dehydrogenaz oraz aktywność fosfatazy kwaśnej i fosfatazy alkalicznej w glebie pod uprawą jęczmienia jarego może być znacznie wyższa niż w glebie, na której uprawiano owies oraz istotnie wyższa w glebie pod uprawą gorczycy białej niż rzepaku jarego (39).

Liczebność bakterii, promieniowców i grzybów w glebie spod poszczególnych gatunków roślin chociaż wykazuje istotne zróżnicowanie, to nie układa się tak wyraźnie, jak aktywność enzymów (tab. 10). Jedynie proporcje między poszczególnymi grupami drobnoustrojów kształtują się podobnie jak właściwości biochemiczne, tj. notowano szerszy stosunek sumy liczby bakterii i promieniowców do grzybów w glebie pod uprawą jęczmienia jarego niż owsa oraz pod uprawą gorczycy białej niż rzepaku jarego. Wyniki te, uzyskane w doświadczeniu wazonowym, mogłyby sugerować, że w podobnej skali opisane zjawiska wystąpią w warunkach doświadczeń polowych (19). Ale tak nie jest. Dowodzi tego znacznie mniejsza skala zmienności aktywności enzymów (tab. 11) i liczebności drobnoustrojów (tab. 12), determinowana udziałem roślin zbożowych w zmianowaniu. Najniższą aktywność dehydrogenaz, ureazy i fos-

Tabela 9

Aktywność enzymów w glebie pod uprawą różnych gatunków roślin
(μmol lub mmol produktu $\cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby $\cdot \text{h}^{-1}$)

Gatunek rośliny	Dehydrogenazy $\mu\text{mol TFF}$	Ureaza mmol N-NH_4^+	Fosfataza	
			kwaśna	alkaliczna
			mmol PNP	
Rzepak jary	2,49a	0,42a	1,61b	0,53a
Owies	4,13b	0,56c	0,84a	0,84b
Jęczmień jary	7,66d	0,47b	2,67d	1,47d
Gorczyca biała	4,58c	0,48b	2,50c	1,01c

Źródło: Wyszowska, 2002 (39).

Tabela 10

Liczebność drobnoustrojów w glebie pod uprawą różnych gatunków roślin (jtk · kg⁻¹ s.m. gleby)

Gatunek rośliny	Bakterie (B) · 10 ⁹	Promieniowce (P) · 10 ⁹	Grzyby (G) · 10 ⁷	$\frac{B+P}{G} \cdot 10^2$
Rzepak jary	12,13c	6,39a	1,35d	13,72a
Owies	10,86b	7,48b	1,20c	15,28b
Jęczmień jary	8,03a	8,11c	0,78b	20,69c
Gorczyca biała	17,20d	10,98d	0,67a	42,06d

Źródło: Wyszowska, 2002 (39).

fatazy alkalicznej notowano w glebie z 50% udziałem zbóż, a wyższą i prawie identyczną w glebie z ich 25 i 75% udziałem (tab. 11). Najmniejszy udział zbóż (25%) kształtował znacznie korzystniejszy wskaźnik, mierzony ilorazem sumy liczby bakterii i promieniowców do grzybów, niż 50 i 75% udział zbóż (tab. 12).

Ważnym czynnikiem wpływającym na mikrobiologiczne właściwości gleb jest przedplon. Z badań wykonanych w warunkach polowych jednoznacznie wynika, że może on istotnie zmieniać aktywność poszczególnych enzymów (tab. 13). I tak na przykład na dehydrogenazy, fosfatazę kwaśną i fosfatazę alkaliczną najkorzystniej wpływała gorczyca biała jako przedplon pszenicy ozimej, natomiast na ureazę rzepak ozimy. Najmniej sprzyjającym enzymom przedplonem był rzepak jary.

Tabela 11

Aktywność enzymów w glebie w zależności od udziału zbóż w płodozmianie (μmol lub mmol produktu · kg⁻¹ s.m. gleby · h⁻¹)

Udział zbóż (%)	Dehydrogenazy μmol TFF	Ureaza mmol N-NH ₄ ⁺	Fosfataza	
			kwaśna	alkaliczna
			mmol PNP	
25	8,75b	1,20b	2,05a	1,10b
50	8,33a	1,17a	2,06a	1,06a
75	8,75b	1,21b	2,06a	1,11b

Źródło: Kucharski i in., 1996 (19).

Tabela 12

Liczebność drobnoustrojów w glebie w zależności od udziału zbóż w płodozmianie (jtk · kg⁻¹ s.m. gleby)

Udział zbóż (%)	Bakterie (B) · 10 ⁹	Promieniowce (P) · 10 ⁹	Grzyby (G) · 10 ⁷	$\frac{B+P}{G} \cdot 10^2$
25	21,17b	14,34c	0,40b	88,78c
50	22,60c	10,58 b	0,40b	82,95a
75	20,88a	10,16a	0,36a	86,22b

Źródło: Kucharski i in., 1996 (19).

Tabela 13

Aktywność enzymów w glebie spod pszenicy ozimej, uprawianej po różnych przedplonach
(μmol lub mmol produktu $\cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby $\cdot \text{h}^{-1}$)

Rodzaj przedplonu	Dehydrogenazy μmol TFF	Ureaza mmol N-NH_4^+	Fosfataza	
			kwaśna	alkaliczna
			mmol PNP	
Rzepak ozimy	15,58 b	1,43c	2,24b	1,52a
Rzepak jary	14,41a	1,35b	2,13a	1,39b
Gorczyca biała	16,47c	1,26a	2,42c	1,47c

Źródło: Wyszowska i in., 2009 (47).

Z badań wykonanych w warunkach doświadczeń wazonowych wynika, że aktywność dehydrogenaz może być hamowana przez kwas α -naftylooctowy, kwas gibberelinowy i benzyloadeninę, natomiast stymulowana przez triacontanol (tab. 14). Ten ostatni fitohormon wpływał także korzystnie na ureazę i fosfatazę kwaśną. Aktywność fosfatazy kwaśnej i fosfatazy alkalicznej stymulował także kwas indolilomasłowy. Przy czym na fosfatazę alkaliczną dodatkowo oddziaływała również benzyloadenina.

Ta krótka charakterystyka uzyskanych wyników dowodzi, że wprowadzie fitohormony mogą częściowo kształtować enzymatyczne właściwości gleby, ale ich działanie nie jest jednoznaczne i może być różne w odniesieniu do poszczególnych enzymów. W zależności od rodzaju fitohormonu mogą je stymulować bądź hamować. Jeszcze mniej regularnie hormony wzrostu roślin wpływają na liczebność drobnoustrojów (tab. 15). Na bakterie korzystnie wpływał tylko kwas gibberelinowy, na promieniowce kwas indolilomasłowy, a na grzyby enzyloadenina.

Zabiegiem, który mógłby wpływać na mikrobiologiczne właściwości gleby jest chemiczna ochrona roślin. Z badań Wyszowskiej i Kucharskiego (44) wynika jednak, że chemiczne środki ochrony roślin są na ogół preparatami bezpiecznymi i gdy są stosowane w dawkach zgodnych z zaleceniami producenta nie wywo-

Tabela 14

Aktywność enzymów w glebie z dodatkiem fitohormonów
(μmol lub mmol produktu $\cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby $\cdot \text{h}^{-1}$)

Fitohormon	Dehydrogenazy μmol TFF	Ureaza mmol N-NH_4^+	Fosfataza	
			kwaśna	alkaliczna
			mmol PNP	
Kontrola	5,94b	0,43b	0,63b	1,92b
IBA	5,66b	0,44bc	0,70c	2,31c
NAA	4,79a	0,42b	0,58a	1,63a
GA ₃	4,84a	0,43b	0,56a	1,96b
BA	4,84a	0,35a	0,64b	2,14b
Tria	6,18c	0,52d	0,73d	2,01b

IBA – kwas indolilomasłowy, NAA – kwas α -naftylooctowy, GA₃ – kwas gibberelinowy, BA – benzyloadenina, Tria – triacontanol

Źródło: Wyszowska i in., 2000 (51).

Tabela 15

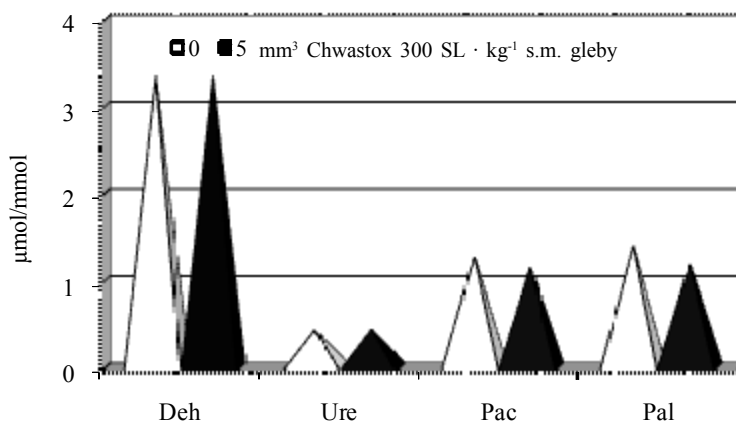
Liczebność drobnoustrojów w glebie z dodatkiem fitohormonów (jtk · kg⁻¹ s.m. gleby)

Fitohormon*	Bakterie (B) · 10 ⁹	Promieniowce (P) · 10 ⁹	Grzyby (G) · 10 ⁷	$\frac{B+P}{G} \cdot 10^2$
Kontrola	18,23c	5,73c	0,98b	24,45c
IBA	16,33b	7,96d	0,83a	29,27d
NAA	15,85b	5,00b	0,86a	24,24c
GA ₃	25,56d	4,74a	0,82a	36,95e
BA	7,01a	5,21b	1,31c	9,33a
Tria	6,03a	4,85a	0,92b	11,83b

* IBA – kwas indolilomasłowy, NAA – kwas α-naftylooctowy, GA₃ – kwas giberelinowy, BA – benzyloadenina, Tria – triacontanol

Źródło: Wyszowska i in., 2000 (51).

lują niekorzystnych zmian w metabolizmie gleby. Zakłócenia zaczynają się tylko wtedy, gdy dostaną się one do gleby w dawkach zbyt dużych, zamiast w dawkach zalecanych (rys. 4).



Rys. 4. Aktywność enzymów w glebie zanieczyszczonej herbicydem Chwastox 300 SL (μmol lub mmol produktu · kg⁻¹ s.m. gleby · h⁻¹)

Deh – dehydrogenazy (μmol TFF), Ure – ureaza (mmol N-NH₄⁺), Pac – fosfataza kwaśna (mmol PNP), Pal – fosfataza alkaliczna (mmol PNP)

Źródło: Wyszowska, Kucharski, 2004 (44).

Ważnym czynnikiem są także wielorakie działania doprowadzające do zakwaszenia gleby (46). W glebach kwaśnych nie tylko jest mniejsza aktywność enzymów niż w glebach obojętnych (tab. 16), ale także mniejsza liczebność bakterii i promieniowców oraz mniej korzystny stosunek sumy liczby promieniowców i bakterii do grzybów (tab. 17).

Tabela 16

Aktywność enzymów w zależności od pH gleby (μmol lub mmol produktu $\cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby $\cdot \text{h}^{-1}$)

$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ gleby	Dehydrogenazy $\mu\text{mol TFF}$	Ureaza mmol N-NH_4^+	Fosfataza	
			kwaśna	alkaliczna
			mmol PNP	
3,9	0,65a	0,06a	1,94a	0,84a
4,1	0,86b	0,09b	2,21b	0,90a
4,5	1,04b	0,32c	2,39c	1,08b
5,1	1,47c	0,76d	2,82d	1,44c
5,7	3,24d	1,54e	3,20e	2,40d
6,7	8,21e	4,18f	3,50f	3,47e

Źródło: Wyszowska i in., 2001 (46).

Tabela 17

Liczebność drobnoustrojów w zależności od pH gleby ($\text{jtk} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby)

$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ gleby	Bakterie (B) $\cdot 10^9$	Promieniowce (P) $\cdot 10^9$	Grzyby (G) $\cdot 10^7$	$\frac{B+P}{G} \cdot 10^2$
3,9	0,35a	0,30a	1,17a	0,56a
4,1	0,69b	0,30a	0,50bc	1,96b
4,5	0,76b	0,56b	0,41c	3,23c
5,1	1,28c	0,87c	0,41c	5,27e
5,7	1,39c	1,06d	0,54bc	4,55d
6,7	1,31c	1,20d	0,56b	4,53d

Źródło: Wyszowska i in., 2001 (45).

Ocena jakości gleb za pomocą wskaźników mikrobiologicznych

Na możliwość korzystania z różnych indeksów aktywności mikrobiologicznej gleb do oceny ich żyzności wskazuje N a n n i p i e r i i in. (29) – są to między innymi biologiczny indeks żyzności (**BIF**) i wskaźnik aktywności enzymów (**EAN**). Według Z a h i r'a i in. (54) pierwszy indeks do określenia żyzności gleb zaproponowali w 1950 roku H o f m a n n i S e e g e n e r. S p i e r i R o s s (35) dowodzą, że w metabolizmie gleby największą rolę odgrywają enzymy pochodzenia mikrobiologicznego. W tym samym okresie S k u j n i s (cyt. za 54) stwierdza, że uzyskanie tzw. „indeksu żyzności” tylko na podstawie aktywności enzymatycznej nie jest możliwe, gdyż aktywność enzymów, jego zdaniem, nie odzwierciedla ogólnego stanu zasobności gleby. Z kolei D i c k i T a b a t a b a i (9) udowodnili dodatnią korelację między zawartością Mg^{2+} , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} i Mn^{2+} a aktywnością glebowej pirofosfatazy, natomiast S p e i r (34) oraz D a l t o n i in. (6) zaprzeczają doniesieniom S k u j n i s (cyt. za 54).

L i u i in. (24) uważają, że użycie pomiaru aktywności enzymów do oceny rolniczej jakości gleb jest obiecujące i do tego celu rekomendują oznaczanie β -glukozydazy i α -asparaginazy. T r a s a r - C e p e d a i in. (36) oraz L e i r o s i in. (23) stwierdzili, że zawartość azotu ogółem może być opisana za pomocą równania obejmującego 5 parametrów: mikrobiologicznej biomasy, zmineralizowanego azotu, aktywności fosfomonoesterazy, aktywności β -glukozydazy i aktywności ureazy.

D e l a P a z J i m e n e z i in. (7) opracowali wzór, który pozwala na ocenę jakości gleb na podstawie aktywności arylosulfatazy, dehydrogenaz, kwaśnej fosfomonoesterazy i β -glukozydazy. Według G a r c i i i H e r n a n d e z a (11) do opracowania takiego indeksu wystarczy pomiar β -glukozydazy i arylosulfatazy, ale połączony z określeniem wielkości biomasy. P u g l i s i i in. (32) dowodzą, że różne matematyczne i statystyczne modele mogą być wykorzystywane do otrzymania indeksu określającego status gleby. D i c k i in. (8) zwracają uwagę, że nawet pomiary aktywności dwóch enzymów, takich jak aktywność fosfatazy kwaśnej i aktywność fosfatazy alkalicznej wystarczą do określenia właściwego statusu gleby.

Według M y ś k o w a (27) oraz M y ś k o w a i in. (28) mikrobiologiczny wskaźnik potencjalnej żyzności gleby można określić na podstawie zawartości węgla i aktywności dehydrogenaz lub też na podstawie aktywności biologicznej gleby mierzonej stosunkiem bakterii do grzybów, ewentualnie aktywności dehydrogenaz oraz zawartości węgla i pojemności sorpcyjnej. Dużą korelację między jakością gleby a plonem roślin wykazuje wskaźnik **Mw** (17) obliczony na podstawie zawartości węgla organicznego, dehydrogenaz, fosfatazy kwaśnej, fosfatazy alkalicznej i ureazy. K o p e r i P i o t r o w s k a (13) zaproponowali biochemiczny wskaźnik żyzności gleby obliczony na podstawie zawartości węgla i azotu oraz aktywności dehydrogenaz, fosfatazy alkalicznej, proteazy i amylazy.

Ta różnorodność wskaźników mikrobiologicznych i biochemicznych dowodzi, że nie dopracowano się optymalnego wskaźnika, który odzwierciedlałby obiektywnie stan gleby, uwzględniający wszystkie czynniki wpływające na jej żyzność (17). Wiele dotychczasowych badań z tego zakresu było niepełnych, gdyż nie uwzględniały jednocześnie oddziaływania całej gamy czynników decydujących o aktywności enzymatycznej gleb w powiązaniu z plonami roślin. Ta kompleksowość ma szczególne znaczenie w przypadku gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi i związkami organicznymi. Z reguły metale ciężkie występujące w glebie w nadmiarze hamują aktywność enzymów, a substancja organiczna, w zależności od jej rodzaju, może ją hamować lub stymulować (1, 12, 21, 31, 40, 52). Dlatego można wyciągnąć mylne wnioski o żyzności gleby zanieczyszczonej niektórymi substancjami organicznymi, gdyż zarówno zawartość węgla organicznego, azotu i pojemność sorpcyjna gleby, jak i aktywność wielu enzymów zwiększa się, natomiast zdolność plonotwórcza gleby zmniejsza się pomimo tych korzystnych parametrów. Kolejnym bardzo ważnym elementem ograniczającym poprawne wnioskowanie jest zmienność właściwości mikrobiologicznej w układzie dynamicznym (tab. 18 i 19).

Tabela 18

Aktywność enzymów w glebie spod pszenicy ozimej w zależności od terminu wykonania analiz
(μmol lub mmol produktu $\cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby $\cdot \text{h}^{-1}$)

Termin analiz	Dehydrogenazy $\mu\text{mol TFF}$	Ureaza mmol N-NH_4^+	Fosfataza	
			kwaśna	alkaliczna
			mmol PNP	
Kwiecień	10,45a	1,50a	2,33b	1,42b
Maj	12,69b	1,48a	2,76d	1,69d
Czerwiec	19,52c	1,74b	1,27a	1,21a
Sierpień	19,28d	0,67c	2,43c	1,53c

Źródło: Wyszowska i in., 2009 (47).

Tabela 19

Aktywność enzymów w zależności od terminu analizy gleby
(μmol lub mmol produktu $\cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby $\cdot \text{h}^{-1}$)

Termin analizy (dni)	Dehydrogenazy $\mu\text{mol TFF}$	Ureaza mmol N-NH_4^+	Fosfataza	
			kwaśna	alkaliczna
			mmol PNP	
14	5,20d	0,36a	1,15b	0,89b
28	3,74b	0,66b	1,06a	0,87a
42	3,52a	0,70c	1,16b	0,94c
56	4,19c	0,73c	1,34c	1,28d

Źródło: Wyszowska, 2002 (39).

Z badań własnych (18, 21, 49, 50) i innych autorów (2, 23, 31, 33) wynika, że pomiar aktywności enzymatycznej gleby może być wykorzystany do konstruowania mikrobiologicznych wskaźników stanu jej żyzności.

Modelowanie mikrobiologicznych wskaźników żyzności gleby powinno opierać się na enzymach uczestniczących w procesach degradacji substancji organicznej, mineralizacji azotu lub nitryfikacji. Trudności w interpretacji wyników oznaczeń enzymatycznych oraz konstrukcji mikrobiologicznych wskaźników jakości gleby wynikają z dowolności stosowanych metod analitycznych i wyrażania wyników w różnych jednostkach. Zunifikowanie jednostek aktywności, np. wyrażanie w mikromolach lub milimolach produktu reakcji na 1 gram lub kilogram s.m. gleby na określoną jednostkę czasu ułatwiłoby nie tylko optymalizację mikrobiologicznych i biochemicznych wskaźników jakości gleb, ale także pozwoliłoby na tworzenie progów aktywności. Jedną z propozycji wyrażania aktywności enzymów glebowych wraz z zakresem uzyskiwanych wartości zamieszczono w tabeli 20. Korzystając z takich jednostek, można na podstawie sumy aktywności wyznaczyć wskaźnik **BA** ($\text{BA} = \text{Ure} + \text{Deh} + \text{Pac} + \text{Pal} + \text{Aryl} + \text{Cat} + \beta\text{Glu}$). Taki wskaźnik zaprezentowano w tabeli 21. Jest on ściśle powiązany z plonowaniem roślin, czego dowodzą plony teoretyczne obliczone na podstawie wielkości wskaźnika **BA**, które są zbliżone do plonów eksperymentalnych uzyskanych w doświadczeniu.

Tabela 20

Aktywność enzymów glebowych
(średnia dla 136 różnych gleb)

Rodzaj enzymu	Jednostka	Zawartość	
		średnia	zakres
Dehydrogenazy	$\mu\text{mol TFF kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$	7,23	0,72-66,10
Ureaza	$\text{mmol N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$	0,81	0,10-9,96
Fosfataza kwaśna	$\text{mmol PNP kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$	2,13	1,18-4,02
Fosfataza alkaliczna	$\text{mmol PNP kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$	1,60	0,69-5,06
Arylosulfataza	$\text{mmol PNP kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$	0,23	0,02-0,28
Katalaza	$\text{mol O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$	0,31	0,10-0,54
β -glukozydaza	$\text{mmol PNP kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$	1,34	1,08-2,88

Źródło: badania własne.

Tabela 21

Aktywność enzymów w glebie w zależności od zanieczyszczenia jej miedzią
(μmol lub mmol produktu $\cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby $\cdot \text{h}^{-1}$)

Zanieczyszczenie gleby miedzią ($\text{mg Cu}^{2+} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby)	Deh	Ure	Pac	Pal	Aryl	Kat	BA
0	8,51	1,06	1,40	2,03	0,17	0,25	13,42
20	5,82	0,98	1,42	1,97	0,16	0,24	10,59
40	5,37	0,88	1,40	1,64	0,14	0,23	9,66
80	3,76	0,84	1,30	1,42	0,13	0,21	7,66
120	2,78	0,80	1,27	1,37	0,10	0,19	6,51
240	1,16	0,66	1,21	1,33	0,10	0,19	4,65
480	0,54	0,62	0,71	0,32	0,09	0,19	2,47

Deh – dehydrogenazy ($\mu\text{mol TFF}$), Ure – ureaza (mmol N-NH_4^+), Pac – fosfataza kwaśna (mmol PNP), Pal – fosfataza alkaliczna (mmol PNP), Aryl – arylosulfataza (mmol PNP), Kat – katalaza (mol O_2)

Źródło: opracowanie własne (materiał niepublikowany).

Tabela 22

Porównanie plonu faktycznego owsa z plonem teoretycznym obliczonym na podstawie wskaźnika biochemicznej aktywności gleby (BA = Ure + Deh + Pac + Pal + Aryl + Cat + βGlu)

Zanieczyszczenie gleby miedzią ($\text{mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby)	Plon faktyczny	Plon teoretyczny
	g s.m. $\cdot \text{kg}^{-1}$ gleby	
0	8,64	8,24
20	7,95	8,61
40	7,83	8,38
80	7,71	7,30
120	7,10	6,30
240	3,91	4,15
480	0,56	0,73

Źródło: opracowanie własne (materiał niepublikowany).

Podsumowanie

1. Właściwości mikrobiologiczne gleb mogą być zmieniane przez szeroko pojęte rolnictwo, ale zmiany te nie mają charakteru trwałego, po kilku tygodniach bowiem stan gleby powraca do stanu pierwotnego, sprzed okresu, w którym jakiś czynnik bądź zabieg spowodował ich poprawę bądź zaburzenie. Dotyczy to głównie stosowanych środków ochrony roślin i nawożenia mineralnego.

2. Wszelka działalność zubożająca glebę w substancję organiczną prowadzi do zakłóceń jej metabolizmu. Zatem dla zachowania aktualnych właściwości mikrobiologicznych bądź ich poprawy należy stosować płodozmian, w którym mineralizacja materii organicznej nie będzie dominowała nad jej dopływem do gleby.

3. Do oceny jakości rolniczej gleb mogą być przydatne wskaźniki opracowane na podstawie aktywności enzymów glebowych. Warunkiem koniecznym jest jednak szukanie korelacji między tymi wskaźnikami a plonowaniem roślin. Nie mogą to być indeksy żyzności opracowywane w oderwaniu od zdolności produkcyjnej gleb, a tak często się zdarza.

4. Aktywność enzymów glebowych powinna być przedstawiana w molach (bądź w ich podjednostkach) produktu reakcji na jednostkę masy gleby, np. na 1 kilogram lub 1 gram suchej masy na jednostkę czasu, tj. na 1 godzinę, niezależnie od zastosowanej metody analitycznej. Takie rozwiązanie ułatwi porównywanie wyników uzyskiwanych w różnych laboratoriach oraz umożliwi wyznaczenie wartości progowych dla gleb o różnej przydatności rolniczej.

Literatura

1. Barabasz W., Albińska D., Jaśkowska M., Lipiec J.: Biological effects of mineral nitrogen fertilization on soil microorganisms. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2002, **11(3)**: 193-198.
2. Bieleńska E. J.: Oznaczanie aktywności fosfataz. *Acta Agroph.*, 2005, **3**: 63-74.
3. Blanco-Canqui H., Lal R.: Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. *Soil Till. Res.*, 2007, **95**: 240-254.
4. Carefoot J. M., Janzen H. H.: Effect of straw management, tillage timing and timing of fertilizer nitrogen application on the crop utilization of fertilizer and soil nitrogen in an irrigated cereal rotation. *Soil Till. Res.*, 1997, **44**: 195-210.
5. Chrost R., Siuda W.: Ecology of microbial enzymes in lake ecosystems. In: *Enzymes in the environment. Activity, ecology, and applications*. Eds. R. Burns, R. Dick. New York, 2002, 35-72.
6. Dalton D. A., Evans H. J., Hannus F. J.: Stimulation by nickel of soil microbial urease and hydrogenase activities in soybeans grown in a low-nickel soil. *Plant Soil*, 1985, **88(2)**: 245-258.
7. De la Paz Jimenez M., de la Horra A. M., Pruzzo L., Palma R. M.: Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters. *Biol. Fertil. Soils*, 2002, **35**: 302-306.
8. Dick W. A., Cheng L., Wang P.: Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. *Soil Biol. Biochem.*, 2000, **32**: 1915-1919.
9. Dick W. A., Tabatabai M. A.: Activation of soil phosphatase by metal ions. *Soil Biol. Biochem.*, 1983, **15**: 59-363.
10. Furczak J., Turska B.: Wpływ różnych systemów uprawy soi na rozwój mikroorganizmów i zawartość fenoli w glebie płowej. *Acta Agroph.*, 2006, **8(1)**: 59-68.

11. Garcia C., Hernandez T.: Biological and biochemical indicators in derelict soils subject to erosion. *Soil Biol. Biochem.*, 1997, **29**(2): 171-177.
12. Hinojosa B. M., Carreria J. A., Garcia-Ruiz R., Dick R. P.: Soil moisture pre-treatment effects on enzyme activities as indicators of heavy metal-contaminated and reclaimed soils. *Soil Biol. Biochem.*, 2004, **36**(10): 1559-1568.
13. Koper J., Piotrowska A.: Application of biochemical index to define soil fertility depending on varied organic and mineral fertilization. *EJPAU*, 2003, **6**(1): 06.
14. Kucharski J.: Badania nad przydatnością inhibitorów nityfikacji w nawożeniu roślin. *Acta Acad. Agricult. Techn. Olst.*, 1985, **41**: 1-59.
15. Kucharski J.: Wpływ wieloletniego nawożenia gnojowicą na biologiczne właściwości gleby. *Mat. Konf. Nauk. „Nawozy organiczne”*. AR Szczecin, 1992, 24-29.
16. Kucharski J.: Skuteczność estru fenylogowego kwasu diamidofosforowego w regulowaniu tempa hydrolizy mocznika w glebie. *Acta Acad. Agricult. Techn. Olst.*, 1994, **57**: 83-90.
17. Kucharski J.: Relacje między aktywnością enzymów a żyznością gleby. W: *Drobnoustroje a życie gleby*. Red. W. Barabasz. AR Kraków, 1997, 327-348.
18. Kucharski J., Jastrzębska E., Wyszowska J.: Contamination of soil with hard coal ash as modifier of physicochemical and biological properties of soil. *EJPAU*, 2006, **9**(1): 35.
19. Kucharski J., Nowicki J., Wanic M.: Wpływ różnego udziału roślin zbożowych w płodozmianie na aktywność enzymatyczną gleby. *Acta Acad. Agricult. Techn. Olst.*, 1996, **63**: 77-84.
20. Kucharski J., Panak H., Sienkiewicz S., Niewolak T.: Aktywność mikroorganizmów glebowych w zależności od form, terminów i sposobów stosowania nawozów azotowych. *Acta Acad. Agricult. Techn. Olst.*, 1996, **62**: 37-46.
21. Kucharski J., Wyszowska J.: Microbiological properties of soil contaminated with diesel oil. *Acta Agroph.*, 2001, **51**: 113-120.
22. Kucharski J., Wyszowska J., Nowak G., Harms H.: Activity of enzymes in soils treated with sewage sludges. *Pol. J. Soil Sci.*, 2000, **33**(1): 29-36.
23. Leiros C., Trasar-Cepeda C., Garcia-Fernandez F., Gil-Sotres F.: Defining the validity of a biochemical index of soil quality. *Biol. Fertil. Soils*, 1999, **30**: 140-146.
24. Liu K. L., Lai C. M., Helen W.: Soil enzyme activities as indicators of agricultural soil quality. *Symposium No. 32 17th WCSS, Thailand*, 2002, 1386.
25. Malkawi A. I. H., Alawneh A. S., Abu-Safagah O. T.: Effect of organic matter on the physical and the physicochemical properties of an illitic soil. *Appl. Clay Sci.*, 1999, **14**: 257-258.
26. Manzoni S., Porporato A.: Soil carbon and mineralization: Theory and models across scale. *Soil Biol. Biochem.*, 2009, **41**: 1355-1379.
27. Myśków W.: Próby wykorzystania wskaźników aktywności mikrobiologicznej do oceny żyzności gleby. *Post. Mikrob.*, 1981, **20**: 173-192.
28. Myśków W., Stachyra A., Zięba S., Masiak D.: Aktywność biologiczna gleby jako wskaźnik jej żyzności i urodzajności. *Rocz. Glebozn.*, 1996, **47**(1/2): 89-99.
29. Nannipieri P., Kandler E., Ruggiero P.: Enzyme activities and microbiological and biochemical processes in soil. In: *Enzymes in the environment. Activity, ecology, and applications*. Eds. R. Burns, R. Dick. New York, 2002, 1-33.
30. Nortcliff S.: Standarisisation of soil quality attributes. *Agric. Ekosys. Environ.*, 2002, **88**: 161-168.
31. Nowak J., Szymczak J., Słobodzian T.: Próba określenia 50% progu toksyczności dawek różnych metali ciężkich dla fosfatyz glebowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2003, **492**: 241-248.
32. Puglisi E., Nicelli M., Capri E., Trevisan M., Del Re A. A. M.: A soil alteration index based on phospholipid fatty acids. *Chemosphere*, 2005, **61**: 1548-1557.
33. Renella G., Landi L., Valori F., Nannipieri P.: Microbial and hydrolase activity after release of low molecular weight organic compounds by a model root surface in a clayey and a sandy soil. *Appl. Soil Ecol.*, 2007, **36**: 124-129.

34. Speir T. W.: Urease, phosphatase, and sulphatase activities of Cook Island and Tongan soils. *N. Z. J. Sci.*, 1984, **27**: 73-79.
35. Speir T. W., Ross D. J.: Soil phosphatase and sulphatase. Soil enzymes. In: Ed. R. G. Burns. Academic Press, New York, 1978, 197-250.
36. Trasar-Cepeda C., Leiros C., Gil-Sotres F., Seoane S.: Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties. *Biol. Fertil. Soils*, 1998, **26**: 100-106.
37. Trasar-Cepeda C., Leiros M. C., Gil-Sotres F.: Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality. *Soil Biol. Biochem.*, 2008, **40**: 2146-2155.
38. Wyczółkowski A., Wyczółkowska M., Dąbek-Szreniawska M.: Biologiczna aktywność gleb pod roślinami w wybranym płodozmianie. *Acta Agroph.*, 2006, **8(1)**: 275-284.
39. Wyszowska J.: Biologiczne właściwości gleby zanieczyszczonej chromem sześciowartościowym. Rozprawy i Monografie, UWM Olsztyn, 2002, **65**: 1-134.
40. Wyszowska J., Kucharski J.: Biochemical properties of soil contaminated by petrol. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2000, **9(6)**: 479-486.
41. Wyszowska J., Kucharski J.: Effect of long term soil storage on its enzymes activity. Scientific works of the Lithuanian Institute of Horticulture and Lithuanian University of Agriculture, 2002, **21(2)**: 98-105.
42. Wyszowska J., Kucharski J.: The effect of long term soil storage on microorganisms number. *Pol. J. Natur. Sci.*, 2002, **14(2)**: 291-298.
43. Wyszowska J., Kucharski J.: Biochemiczne właściwości gleby zanieczyszczonej olejem napędowym a plonowanie łubinu żółtego. *Rocz. Glebozn.*, 2004, **50**: 299-309.
44. Wyszowska J., Kucharski J.: Biologiczne właściwości gleby zanieczyszczonej Chwastoxem Trio 540 SL. *Rocz. Glebozn.*, 2004, **50**: 311-319.
45. Wyszowska J., Kucharski J., Benedycka Z.: Count of soil microorganisms in horticultural soils of different acidification. *Natur. Sci.*, 2001, **8**: 123-134.
46. Wyszowska J., Kucharski J., Benedycka Z.: Physicochemical properties and enzymatic activity of sulphur-acidified horticultural soil. *Polish J. Environ. Stud.*, 2001, **10(4)**: 293-296.
47. Wyszowska J., Kucharski J., Jankowski K., Kijewski Ł.: Wpływ resztek pozbiorowych na aktywność enzymów glebowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2009, **537**: 403-412.
48. Wyszowska J., Kucharski J., Jastrzębska E.: Liczebność drobnoustrojów w glebie zanieczyszczonej osadami ściekowymi. *Acta Agr. Silv.*, 2004, **42**: 475-483.
49. Wyszowska J., Kucharski J., Kucharski M.: Interaction of cadmium with other heavy metals and its influence on the soil biochemical properties. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2006, **15(2a)**: 559-568.
50. Wyszowska J., Kucharski J., Lajszner W.: Enzymatic activities in different soils contaminated with copper. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2005, **14(5)**: 119-124.
51. Wyszowska J., Kucharski J., Nowak G.: Role of phytohormones and their precursors in modifying of enzymatic activity of soil and number of microorganisms. *Natur. Sci.*, 2000, **7**: 17-30.
52. Wyszowska J., Kucharski J., Wałdowska E.: The influence of diesel oil contamination on soil enzymes activity. *Rost. Vyr.*, 2002, **48**: 58-62.
53. Yang L, Li T., Li F., Lemcoff J. H., Cohen S.: Fertilization regulates soil enzymatic activity and fertility dynamics in cucumber field. *Scientia Horticul.*, 2008, **116**: 21-26.
54. Zahir A. Z., Malik M. A. R., Arshad M.: Soil enzymes research; a review. *J. Biol. Sci.*, 2001, **1(5)**: 299-307.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Jan Kucharski
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
Katedra Mikrobiologii
pl. Łódzki 3
10-727 Olsztyn
tel.: (89) 523-48-34
e-mail: jan.kucharski@uwm.edu.pl

Jan Jadczyzyn

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

WPLYW SYSTEMÓW UPRAWY ROLI NA NASILENIE PROCESÓW EROZYJNYCH W WARUNKACH ZMIAN KLIMATU*

Wstęp

Rolnictwo jest jednym z działów gospodarki narodowej najbardziej uzależnionym od przebiegu warunków pogodowych i równocześnie odpowiada za wykorzystanie i kształtowanie największego arealu ziemi. Na cele produkcji rolniczej w Polsce wykorzystuje się obecnie ponad 55% powierzchni kraju, w tym zdecydowaną większość (78%) stanowią grunty orne. Ponad 60% polskich gleb wytworzona została z utworów piaszczystych, łatwo przepuszczalnych o małych zdolnościach retencyjnych, na których dominuje opadowy typ gospodarki wodnej. Rolnictwo na tych obszarach jest w bardzo dużym stopniu uzależnione od przebiegu warunków pogodowych w sezonie wegetacyjnym, tj. od ilości i rozkładu opadów oraz temperatury powietrza. Rolnicze użytkowanie ziemi ma wpływ na wiele procesów zachodzących w litosferze, hydrosferze oraz atmosferze. Sposób użytkowania ziemi i system uprawy wpływa na ilość substancji organicznej i jej przemianę w węgiel organiczny, a następnie w dwutlenek węgla. Ma również znaczący wpływ na życie biologiczne, bioróżnorodność oraz obieg i jakość wody w ekosystemie. Zmiany zachodzące w ekosystemach rolniczych mają powolny charakter i są trudno dostrzegalne w krótkim okresie czasu, np. w życiu jednego pokolenia, ale ich skutki są często nieodwracalne. Z tego względu działania podejmowane przez rolnictwo należy analizować nie tylko w aspekcie produkcji żywności, ale również w kontekście ochrony zasobów przyrodniczych i warunków rozwoju całego społeczeństwa.

W ostatniej dekadzie w Europie Środkowej i w Polsce zaobserwowano wyraźny wzrost liczby zdarzeń ekstremalnych, takich jak lokalne ulewy, huraganowe wiatry i susze (8, 13). Ważnym czynnikiem kształtującym warunki agroklimatyczne, w tym proces fotosyntezy i stosunki wodne, jest usłonecznienie. Analiza długookresowych ciągów meteorologicznych wykazuje wyraźny wzrostowy trend rocznych sum usłonecznienia, szczególnie w ostatniej dekadzie (2000–2009) w Puławach, jak i w całym

* Opracowanie wykonano w ramach zadania statutowego 4.2 i zdania 1.3 w programie wieloletnim IUNG - PIB

kraju (3, 7). Największe wzrosty przypadają w okresie od maja do sierpnia, tj. w miesiącach największego zapotrzebowania na wodę przez rośliny zbożowe i okopowe. Wzrost temperatury i usłonecznienia będzie czynnikiem przyspieszającym proces ewapotranspiracji i pogłębiania się występujących obecnie niedoborów wody w środowisku (3). Według Z i e m n i c k i e j (16) wzrost temperatury o 1°C oznacza ubytek 6 mm wody w bilansie w skali miesiąca, a przy wzroście o 2°C ponad 14 mm.

Według prognoz IPCC Międzyrządowego Panelu do Spraw Zmian Klimatu (17) klimat w dalszym ciągu będzie się ocieślał. W zależności od przyjętego scenariusza nastąpi wzrost temperatury od 0,3 do 0,9°C przy stałej (na dotychczasowym poziomie) emisji gazów cieplarnianych i aerozoli, do 4°C według krytycznego wariantu przy podwojeniu emisji CO₂ do poziomu 1550 ppm. Prognozy IPCC są na ogół zgodne co do globalnego ocieplenia, pewne rozbieżności występują natomiast w scenariuszach ilości opadów. W ramach projektu ACACIA (11) przygotowano scenariusze zmian opadu regionalnego dla Europy (11). Przewidują one wzrost opadu zimowego, szczególnie dla części północno-wschodniej (Skandynawii). Przewiduje się również zmiany w opadach w sezonie letnim, w tym wzrost opadu letniego w Europie Północnej.

Raport IPCC przewiduje równocześnie zwiększoną częstotliwość występowania i intensywność ekstremalnych zjawisk pogodowych. Wzrost intensywności opadów według tego raportu przyczyni się do niszczenia upraw, wzmożenia procesów erozyjnych i braku okresowej możliwości uprawy z powodu nadmiernego uwilgotnienia gleby. Regiony dotknięte przez częstsze susze będą narażone na degradację ziemi, większe ryzyko stresu wodnego i niższe plony.

W obliczu zapowiadanych zmian klimatu przed rolnictwem i innymi działami gospodarki stawiane są wyzwania mające na celu:

- minimalizację okresowych niedoborów i nadmiarów wody w środowisku poprzez bardziej racjonalną gospodarkę wodną,
- ochronę istniejących zasobów przyrody (gleba, woda, powietrze) i bioróżnorodności,
- zabezpieczenie (ilościowe i jakościowe) produkcji żywności.

Stosowany powszechnie w naszym kraju tradycyjny system uprawy roli destrukcyjnie wpływa na właściwości fizykochemiczne gleby (2, 12, 14). Orka i inne zabiegi pielęgnacyjne niszczą naturalną strukturę gleby, przyspieszają procesy parowania, przesuszania i mineralizacji próchnicy (2, 6). Ubytek substancji organicznej ma negatywny wpływ na strukturę gleby, pojemność wodną i sorpcyjną gleby oraz jej aktywność mikrobiologiczną. Stosowanie ciężkiego sprzętu i częste zabiegi uprawowe przyczyniają się do zagęszczenia warstwy podglebia, tworząc tzw. podeszwę płużną, która ogranicza infiltrację i retencję wody w głębszych partiach profilu (1, 4, 10) oraz powoduje rozwój procesów oksydoredukcyjnych. Zruszona w wyniku zabiegów spulchniających gleba narażona jest w większym stopniu na procesy erozji wodnej i wietrznej, większy spływ powierzchniowy i wymycie składników mineralnych i środków ochrony roślin do środowiska (12).

Wybór systemu uprawy roli ma kluczowe znaczenie dla ustabilizowania właściwości fizykochemicznych gleby, szczególnie wierzchniej warstwy, która jest bezpośrednio narażona na procesy erozji wodnej i wietrznej. Stabilizacja struktury gleby w następstwie ograniczenia zabiegów spulchniających lub ich całkowitego zaniechania w przypadku systemu bezpośredniego (zerowego) poprawia trwałość struktury gleby i zwiększa jej odporność na wymywanie i wywiewanie. Dodatkowym czynnikiem ochronnym może być również warstwa mulczu, która chroni glebę przed bezpośrednim działaniem kropli deszczu i wiatru oraz ogranicza tempo parowania wody (9). Wieloletnie wyniki badań nad systemami uprawy roli uzyskane w doświadczeniach przeprowadzonych na polach produkcyjnych potwierdziły ochronne funkcje systemów uproszczonych w stosunku do systemu tradycyjnego (15). Działania ochronne uwiódrczyły się w zmniejszeniu spływu powierzchniowego, ilości wyerodowanej gleby, a także wzroście retencji wody w glebie (12, 14).

Przedstawione w pracy wyniki badań spływu powierzchniowego i zmycia gleby w mikrozelewni użytkowanej rolniczo stanowią tło dla zobrazowania wpływu i zmian czynników klimatycznych na nasilenie procesów erozji wodnej. Omówiono również niektóre badania nad wpływem konserwujących systemów uprawy roli na nasilenie procesów erozyjnych zachodzących na polach produkcyjnych.

Metodyka badań

Ocenę wpływu poszczególnych systemów uprawy roli na nasilenie procesów erozyjnych w warunkach zmian klimatu analizowano na podstawie monitoringu spływu powierzchniowego i erozji gleby w mikrozelewni użytkowanej rolniczo oraz badań symulacyjnych erozji wodnej prowadzonych na polach uprawnych w technologii konserwującej i tradycyjnej. Mikrozelewnia o powierzchni 1,05 ha i tradycyjnym systemie uprawy położona jest w miejscowości Rogalów, w obrębie dorzecza Bystrej na Płaskowyżu Nałęczowskim. Występują w niej gleby płowe wytworzone z lessów i zaliczone do kompleksu pszennego dobrego oraz pszennego wadliwego. Mikrozelewnia uzbrojona jest w przepust z przelewem trójkątnym, echosondę oraz miernik natężenia przepływu. W bezpośrednim sąsiedztwie pola zainstalowany jest deszczomierz ARG-100 i dataloger do pomiaru opadu. W czasie deszczu erozyjnego prowadzony jest pomiar natężenia spływu powierzchniowego z mikrozelewni, pomiar przepływu kumulowanego oraz pobierane są próbki spływu do określenia ilości zawiesiny glebowej. Badania monitoringu prowadzono w latach 2002–2004. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów obliczono zależności między wybranymi czynnikami opadu a procesami erozji wodnej. Określono zależność między chwilowym natężeniem deszczu erozyjnego a spływem powierzchniowym i stężeniem zawiesiny glebowej oraz zależność między ilością spływu powierzchniowego a erozją gleby dla opadów rocznych.

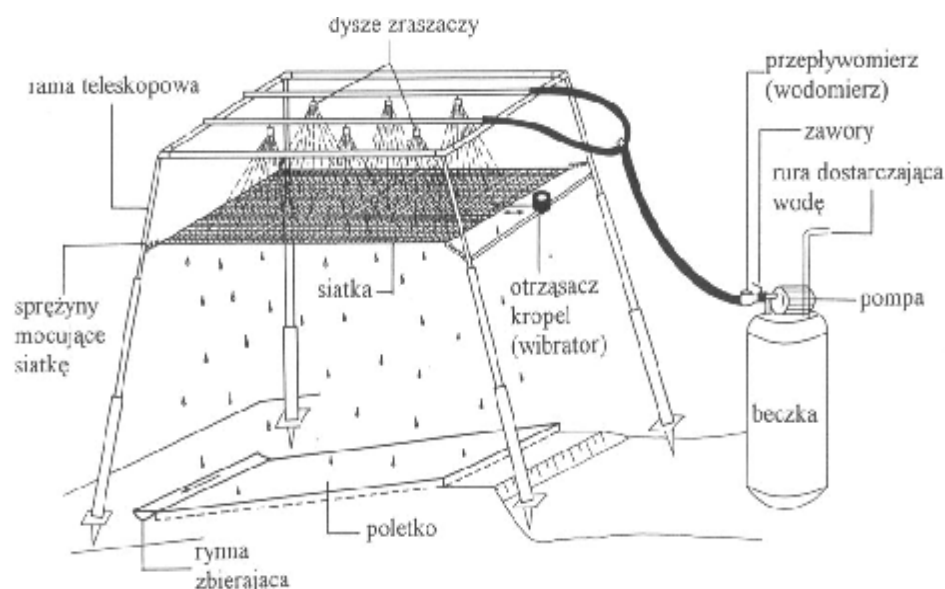
Badania wpływu konserwującej uprawy roli na spływ powierzchniowy i erozję gleby prowadzono na polach produkcyjnych w obiekcie Rogów (gm. Grabowiec, powiat zamojski). Pola badawcze zlokalizowane są na glebach płowych wytworzonych

z lessu, zaliczonych do typu gleb brunatnych wyługowanych i kompleksu pszennego dobrego. Badania symulacyjne erozji wodnej realizowano w trzech systemach uprawy roli:

- bezorkowym z siewem bezpośrednim,
- uproszczonym z zastosowaniem brony talerzowej,
- tradycyjnym.

Systemy uprawy roli badano w płodozmianie 3-polowym: groch – pszenica ozima – pszenica ozima. Pola produkcyjne o powierzchni 0,75 ha założono dla potrzeb wdrażania i kompleksowej oceny konserwujących systemów uprawy roli w roku 2003. Badania erozji realizowano w okresach 2003–2005 oraz 2006–2009. Pierwszy okres badań odnosił się do początku wdrażania technologii konserwujących. W drugim okresie dokonano pewnej modyfikacji technologii uprawy roli na polach siewu bezpośredniego, polegającej na jednorazowym zastosowaniu brony talerzowej do głębokości 8 cm. Z uwagi na większą stabilizację właściwości fizycznych gleby w systemach uproszczonych w pracy przedstawiono wyniki badań erozyjnych z drugiego okresu. Symulacje spływu powierzchniowego i erozji gleby prowadzono na mikropoletkach o wymiarach 1 x 2 m i nachyleniu 10%. Do symulacji opadów deszczu wykorzystano przenośną deszczownię konstrukcji Józefaciuka i Nowocienia (rys. 1). Deszczownia zbudowana jest z 10 dysz umieszczonych w górnej części metalowej konstrukcji na wysokości 2,2 m oraz siatki podłączonej do wibratora. Cała konstrukcja deszczowni obudowana jest płytą poliwęglanową dla osłony przed niekorzystnym działaniem wiatru. Badania prowadzono dwukrotnie w sezonie wegetacyjnym – na wiosnę (maj – początek czerwca) i jesienią (wrzesień – początek października). Łącznie w drugim okresie badań dla każdego systemu uprawy roli przeprowadzono po 36 symulacji opadów deszczu. Czas trwania i natężenie symulowanego opadu miały stałą wartość i wynosiły odpowiednio 20 min i $1,41 \cdot \text{min}^{-1}$. Zakres badań obejmował pomiary wilgotności gleby na mikropoletku przed i po zakończeniu symulacji, pomiary ilości spływu powierzchniowego i masy wymytej gleby oraz oznaczenie stopnia pokrycia gleby mulczem i przez rośliny. Wilgotność gleby mierzono na głębokości 0–10 cm wilgotnościomierzem cyfrowym TDR z dokładnością do 0,5%. Stopień pokrycia gleby (%) przez rośliny i mulcz na mikropoletkach obliczono na podstawie klasyfikacji zdjęć cyfrowych w programie ERDAS-IMAGINE.

Potencjalny wpływ zmian klimatu na nasilenie procesów erozyjnych i degradację gleby analizowano na podstawie prognoz klimatycznych przedstawionych w raporcie syntetycznym IPCC (17) i scenariusza zmian opadu regionalnego opracowanego w ramach projektu ACACIA (11).



Rys. 1. Schemat deszczowni przenośnej konstrukcji Józefaciuka i Nowocienia
Źródło: E. Nowocien.

Wyniki badań

Monitoring erozji wodnej w mikrozewni rolniczej

Przebieg warunków pogodowych w okresie badań spowodował spływ powierzchniowy pochodzenia roztopowego w styczniu i marcu 2003 r. oraz wielokrotnie doprowadził do spływu erozyjnego w całym sezonie wegetacyjnym w 2004 roku. W okresie dwóch lat z mikrozewni wypłynęło 250 m³ wody, w tym 205 m³ w wyniku opadów erozyjnych w 2004 roku (tab. 1). Średnie stężenie zawiesiny glebowej w spływie dla deszczy erozyjnych w całym sezonie wynosiło 53,3 kg · m⁻³, a dla deszczy wiosennych występujących do fazy początku krzewienia owsa było prawie trzykrotnie większe i wynosiło 143 kg · m⁻³.

Tabela 1

Spływ powierzchniowy i erozja gleby w mikrozewni Rogalów w latach 2003–2004

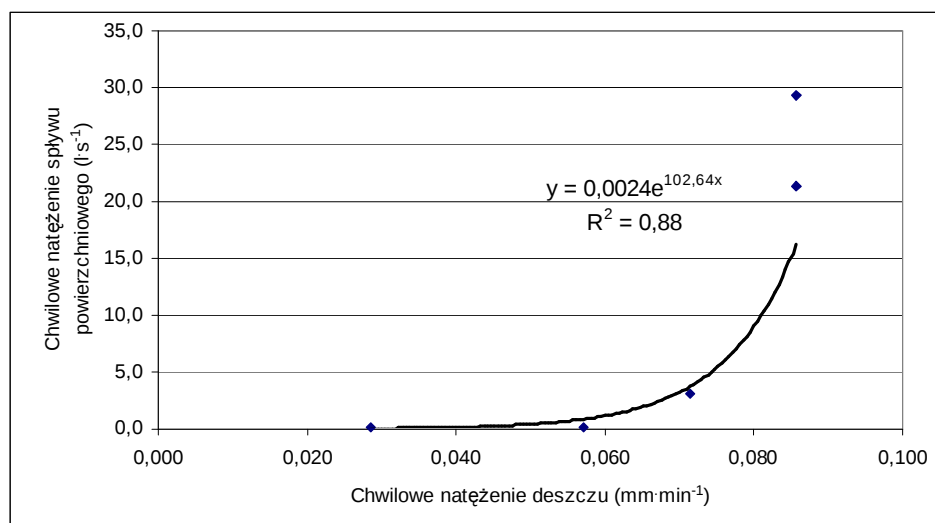
Rodzaj spływu powierzchniowego (rok)	Objętość spływu (m ³)	Wydajność (mm)	Stosunek spływu do opadu		Erozja gleby (t · ha ⁻¹)
			erozyjnego (%)	ogólnego (%)	
Roztopowy (2003)	44,3	4,2	-	-	0,95
Opadowy (2004)	205,0	19,5	23,9	3,9	10,92

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki monitoringu opadu i spływu powierzchniowego w dniu 24 czerwca 2004 r. pozwoliły na opracowanie wzajemnych zależności między chwilowym natężeniem deszczu a spływem i stężeniem materiału glebowego w spływie. W dniu opadu owies w mikrozewni znajdował się w fazie wiechowania i stosunkowo dobrze chronił glebę przed bezpośrednim działaniem kropli deszczu i jej rozmywem. W czasie ponad dwugodzinnego opadu (140 min) o średnim natężeniu $0,04 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, a chwilowo dochodzącym do $0,09 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, z mikrozewni wypłynęło $41,9 \text{ m}^3$ wody. Z uwagi na dobrą funkcję ochronną roślin średnie stężenie materiału glebowego w spływie było dwukrotnie mniejsze od średniego dla całego sezonu wegetacyjnego i wynosiło zaledwie $28 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Jednak jego wartość ulegała dynamicznej zmianie w zależności od natężenia deszczu.

Związek między natężeniem deszczu erozyjnego a natężeniem spływu opisuje równanie wykładnicze $y = 0,0024e^{102,64x}$, dla którego współczynnik determinacji (R^2) wynosi 0,88 (rys. 2).

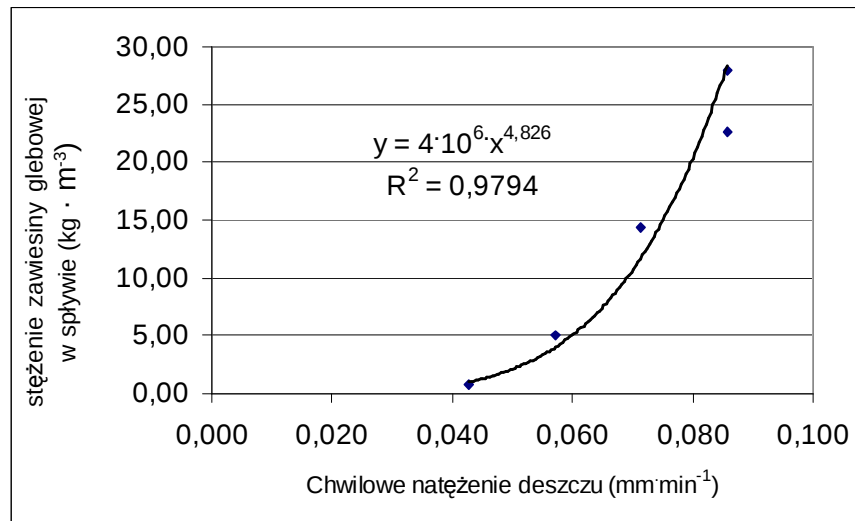
Wynika z niego, że wzrost natężenia deszczu powyżej $0,07 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ w analizowanych warunkach prowadził do gwałtownego przyrostu spływu powierzchniowego w mikrozewni. Podobna zależność wystąpiła między natężeniem deszczu a stężeniem zawiesiny glebowej w spływie opisana równaniem potęgowym $y = 4 \cdot 10^6 \cdot x^{4,826}$, dla którego R^2 wynosi 0,98 (rys. 3). Wyznaczone równania, chociaż bazują na bardzo wąskim przedziale danych wejściowych, wskazują na olbrzymie znaczenie natężenia deszczu w generowaniu spływu powierzchniowego i erozji gleby. Przeprowadzone badania umożliwiły również obliczenie średniej zależności między spływem powierzchniowym i masą wyerodowanej gleby dla wszystkich deszczy erozyjnych w roku 2004



Rys. 2. Zależność między chwilowym natężeniem deszczu erozyjnego i spływem powierzchniowym w dniu 24 czerwca 2004 r. w mikrozewni rolniczej Rogalów

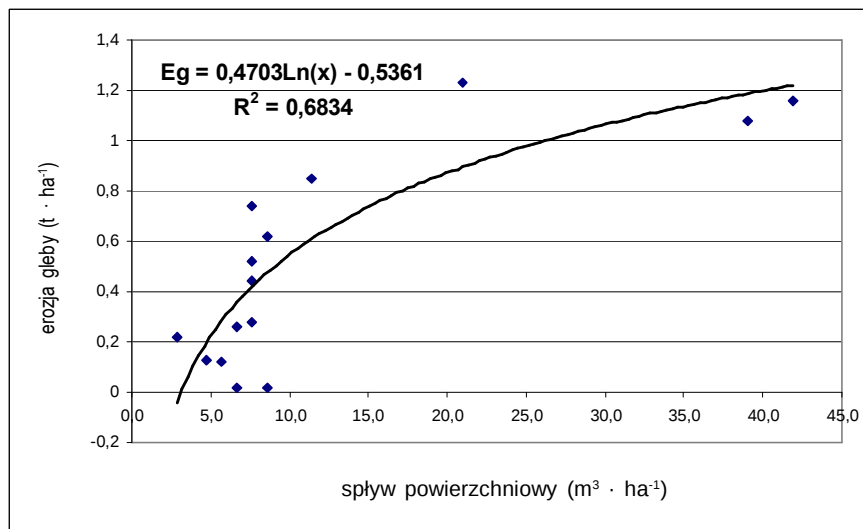
Źródło: opracowanie własne.

(rys. 4). Należy podkreślić, że stężenie zawiesiny glebowej w spływie powierzchniowym było znacznie zróżnicowane w poszczególnych okresach sezonu wegetacyjnego i zależało od stopnia rozwoju roślin okrywających glebę.



Rys. 3. Zależność między chwilowym natężeniem deszczu a stężeniem zawiesiny glebowej w dniu 24 czerwca 2004 r. w mikrozewni rolniczej Rogalów

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4. Zależność między średnią ilością spływu powierzchniowego a erozją gleby dla deszczy erozyjnych w sezonie wegetacyjnym w 2004 r. w mikrozewni rolniczej Rogalów

Źródło: Jadczyższyn, 2010 (5).

Nasilenie erozji wodnej na ochronnych systemach uprawy roli

Charakterystyczną cechą konserwujących technologii uprawy roli jest pozostawianie na powierzchni pola zmulczowanych części nadziemnych roślin. W wyniku kilkuletniego okresu gromadzenia mulczu doszło do jego nadmiernej kumulacji, co było przeszkodą w prawidłowym działaniu siewnika do siewu bezpośredniego. W tej sytuacji zastosowano jednorazowo bronę talerzową i strunową w celu zmniejszenia ilości mulczu. W następstwie tego zabiegu stopień pokrycia mulczem zmniejszył się do 44,6%, wobec 68,0% w okresie sprzed wykonania zabiegu (tab. 2). Stopień pokrycia mulczem w systemie uproszczonym i tradycyjnym istotnie różnił się od jego stanu w systemie siewu bezpośredniego i wynosił odpowiednio 14,2 i 12,5%. System siewu bezpośredniego charakteryzował się nieco wyższym, ale statystycznie nieistotnym stanem uwilgotnienia gleby (tab. 2). Średnia dla wszystkich pomiarów wilgotność objętościowa wierzchniej warstwy gleby do głębokości 15 cm w tym systemie wynosiła 21,3%, przy 18,5% w systemie uproszczonym i 17,9% w tradycyjnym. Obliczony na tej podstawie rzeczywisty zapas wody w warstwie orno-próchnicznej o miąższości 30 cm w technologii zerowej (siew bezpośredni) wynosił 63,9 mm i był o 10,2 mm większy w porównaniu ze stwierdzonym w technologii tradycyjnej, a w przeliczeniu na powierzchnię różnica ta wynosiła $102 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 3). Badania nad oceną uproszczonych systemów uprawy roli prowadzone w Stacji Doświadczalnej IUNG-PIB w Jelczu Laskowicach na glebie płowej wytworzonej z piasków gliniastych mocnych wy-

Tabela 2

Właściwości gleby i erozji w systemach uprawy roli

Wyszczególnienie	Charakterystyki statystyczne	Technologia uprawy roli		
		tradycyjna	konserwująca	
			uproszczona	siew bezpośr.
Mulcz – pokrycie gleby (%)	średnia	12,5 b	14,2 b	44,6 a
	błąd standardowy	2,9	1,9	6,5
	przedział ufności -95%	6,5	10,2	31,3
	przedział ufności +95%	18,5	18,2	58,0
Wilgotność objętościowa wierzchniej warstwy gleby w warstwie 0-15 cm (%)	średnia	17,9 a	18,5 a	21,3 a
	błąd standardowy	2,5	1,5	2,2
	przedział ufności -95%	12,5	15,3	16,6
	przedział ufności +95%	23,3	21,8	26,0
Objętość spływu powierzchniowego ($\text{ml} \cdot \text{m}^2$)	średnia	11796 b	4602 a	3989 a
	błąd standardowy	973	697	559
	przedział ufności -95%	9809	3183	2850
	przedział ufności +95%	13783	6021	5127
Masa wymytego materiału glebowego ($\text{g} \cdot \text{m}^2$)	średnia	340,9 b	90,6 a	57,4 a
	błąd standardowy	49,6	23,7	24,8
	przedział ufności -95%	239,7	42,3	6,9
	przedział ufności +95%	442,1	138,9	107,9

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3

Charakterystyka stosunków wodnych w warstwie orno-próchnicznej gleby

Wyszczególnienie	Technologia uprawy roli		
	tradycyjna	konserwująca	
		uproszczona	siew bezpośredni
Wilgotność objętościowa (%)	17,9	18,5	21,3
Zapasy wody w 30 cm warstwie gleby (mm)	53,7	55,5	63,9
Zapasy wody w 30 cm warstwie gleby w przeliczeniu na powierzchnię ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	537	555	639

Źródło: opracowanie własne.

kazały, że na skutek stabilizacji i zagęszczenia gleby wzrost retencji wody w systemach uproszczonych może sięgać nawet do głębokości 1 m (15).

Badania symulacyjne procesów erozji na mikropoletkach w Rogowie wykazały istotne różnice w objętości spływu powierzchniowego i ilości wyerodowanej gleby między systemami konserwującym i tradycyjnym (tab. 2). Średnia objętość spływu dla jednej symulacji (powtórzenia) w przeliczeniu na 1 m^2 powierzchni dla systemu siewu bezpośredniego wynosiła $3989 \text{ ml} \cdot \text{m}^{-2}$, a systemu uproszczonego $4602 \text{ ml} \cdot \text{m}^{-2}$ i była prawie trzykrotnie mniejsza od występującej w systemie tradycyjnym – $11796 \text{ ml} \cdot \text{m}^{-2}$ (tab. 2). Odnotowano równocześnie statystycznie istotne różnice w ilości wymytego materiału glebowego między systemami uproszczonym i tradycyjnym (tab. 2). W systemie siewu bezpośredniego ilość wymytej gleby była sześciokrotnie mniejsza w stosunku do stwierdzonego w systemie tradycyjnym, a w systemie uproszczonym czterokrotnie mniejsza.

Zmiany klimatyczne i ich potencjalny wpływ na procesy erozyjne gleby

Podstawowe zagrożenia dla rolnictwa i środowiska wynikają z prognozy zmian klimatu w XXI wieku, w tym głównie wzrostu temperatury oraz intensywności i rozkładu opadów w okresie jesienno-zimowym. Grunty orne w okresie jesienno-zimowym w większości nie posiadają okrywy roślinnej, a zboża ozime w małym stopniu pełnią funkcje ochronne dla gleby. W takich warunkach może wystąpić zwiększone ryzyko nasilenia spływu powierzchniowego, erozji gleby, wymycia i migracji pozostałości środków ochrony roślin i nawozów z obszarów rolniczych do środowiska. Wzrost temperatury zwiększy zdolność magazynowania pary wodnej w atmosferze, co przełoży się na większy potencjał opadów (8) i większą erozyjność deszczy. Zjawiska te przyspieszą tempo odpływu wód opadowych ze zlewni, skrócą obieg wody w środowisku, zmniejszą możliwości retencji wody w glebie, a w konsekwencji mogą doprowadzić do wzrostu zagrożenia powodziowego. Wystąpienie rzadszych, ale bardziej intensywnych deszczy w sezonie wegetacyjnym spowoduje wzrost spływu powierzchniowego i erozji gleby. Bazując na obliczonych zależnościach dla mikrozelewni Roga-

łów i opadu z dnia 24 czerwca 2004 r., można stwierdzić, że wzrost chwilowego natężenia deszczu o niespełna $0,02 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ z $0,086$ do $0,100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ (rys. 2) spowodowałby ponad dwukrotny wzrost spływu powierzchniowego do wartości $68,81 \cdot \text{s}^{-1}$ i podwojenie stężenia zawiesiny glebowej w spływie do $59,7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Rolnicze użytkowanie gleb podlegającym erozyjnej degradacji bez zachowania podstawowych zasad ochrony będzie prowadziło do dalszego spłycenia poziomu próchnicznego, obniżenia żyzności i plonowania roślin, a w konsekwencji do zmniejszenia opłacalności i konkurencyjności działalności rolniczej.

Wzrost temperatury powietrza i usłonecznienia w miesiącach letnich zwiększy ewapotranspirację i przesuszenie gleby. W następstwie może też powiększyć strefę niedoboru wody (16) i częstotliwość występowania suszy w rolnictwie. Przesuszona gleba będzie stanowiła większe zagrożenie dla występowania erozji wietrznej. Od wielkości wzrostu temperatury będzie zależał wzrost stopnia deficytu wody i zaistnienie potrzeby ewentualnych zmian w zmianowaniu roślin uprawnych.

Znaczenie systemów uprawy roli dla ochrony zasobów glebowych i wodnych w warunkach zmian klimatu

Wyniki badań świadczą o dobrej ochronie gleby przez systemy uproszczonej uprawy roli z zastosowaniem mulczu, a szczególnie przez siew bezpośredni (rys. 6 i 7). Całkowite zaniechanie orki lub znaczne ograniczenie zabiegów uprawowych stabilizuje strukturę gleby, czyni ją bardziej odporną na działanie deszczu i rozmywanie. Stosowanie warstwy mulczu zabezpiecza glebę przed bezpośrednim działaniem kropeł deszczu, amortyzuje ich energię kinetyczną i zwiększa równocześnie infiltrację wody w głąb gleby. W efekcie większa ilość wody opadowej może zostać retencjonowana na polu. Spływ z warstwy wytworzonego mulczu zawierającego znacznie mniejszą ilość materiału glebowego (tab. 2) zmniejsza erozję gleby oraz wymycie do środowiska próchnicy i składników mineralnych związanych w agregatach glebowych. Warstwa mulczu okrywająca glebę ogranicza parowanie oraz stabilizuje stosunki wodne w całym profilu glebowym, przez co zwiększa się dostępność wody dla roślin. Z porównywanych systemów uprawy roli największe funkcje ochronne wykazuje siew bezpośredni (uprawa zerowa) z zastosowaniem mulczu. System uproszczony wykazuje funkcje pośrednie pomiędzy siewem bezpośrednim a tradycyjnym systemem uprawy roli (rys. 8).

Podsumowanie

Prognozowane zmiany klimatu stwarzają duże zagrożenie dla rolnictwa i środowiska. Wiążą się one z możliwością wzmocnienia procesów erozyjnych, szczególnie erozji wodnej, zwiększeniem odpływu wód opadowych ze zlewni użytkowanych rolniczo oraz większym ryzykiem wystąpienia lokalnych powodzi. Przewidywany wzrost temperatury może mieć wpływ na pogorszenie bilansu wodnego, rozszerzenie zasięgu



Rys. 5. Przepust przelewowy (konstrukcji E. Nowocienia) u wylotu mikrozelewni w Rogalowie
Fot.: J. Jadczyżyn.



Rys. 6. Pszenica ozima 5 maja 2009 r. w uprawie zerowej (siew bezpośredni)
Fot.: Jan Jadczyżyn.



Rys. 7. Pszenica ozima 5 maja 2009 r. uprawiana w systemie uproszczonym

Fot.: Jan Jadczyzyn.



Rys. 8. Pszenica ozima 5 maja 2009 r. uprawiana w systemie tradycyjnym

Fot. : Jan Jadczyzyn.

przestrzennego i częstości występowania suszy rolniczej. Wyniki badań nad systemami uprawy roli potwierdzają skuteczną ochronę gleby przed erozyjną degradacją przez siew bezpośredni, w mniejszym stopniu przez system uproszczonej uprawy roli. Wdrożenie tych technologii do praktyki rolniczej przyczyni się do lepszej ochrony gleby przed fizyczną i chemiczną degradacją i do poprawy bilansu wodnego i zmniejszenia skutków suszy. W dłuższym okresie czasu przyczyni się do stabilizacji plonowania roślin. Glebochronne systemy uprawy roli powinny być elementem polityki państwa wdrażanej w ramach Osi 2 PROW – poprawa środowiska naturalnego i obszarów wiejskich.

Literatura

1. Biskupski A., Pabin J., Kukuła S., Włodek S., Kaus A.: Wpływ ugniatającego oddziaływania elementów jezdnych na właściwości fizyczne gleby oraz plonowanie jęczmienia jarego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1998, **460**: 405-412.
2. Davidson E. A., Acernan I. L.: Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. Biogeochemistry, 1993, **20**: 161-193.
3. Górski T.: Zmiany warunków agroklimatycznych i długość okresu wegetacji roślin w ostatnim stuleciu. Komitet Narodowy IGBP ds. Międzynarodowego Programu Zmiany Geosfery i Biosfery PAN, Poznań, 2006, 65-77.
4. Dzielnia S.: Siew bezpośredni technologią alternatywną. Mat. Konf. Nauk. „Siew bezpośredni w teorii i praktyce”. Szczecin – Barzkowice, 1995, 9-19.
5. Jadczyzsyn J.: Procesy erozyjne w mikroglewni użytkowanej rolniczo. Wyd. WGRS Uniwersytet Warszawski, Prace i Studia Geograficzne, 2010, **43**.
6. Kinsella J.: The effect of various tillage systems in soil compaction. In: Farming for a better environment. A White Paper, Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 1995, 15-17.
7. Koźmiński Cz., Michalska B.: Zmienność usłonecznienia rzeczywistego w Polsce. Acta Agroph., 2004, **3**: 291-305.
8. Kundzewicz Z., Szwed M., Radziejowski M.: Zmiany globalne i ekstremalne zjawiska hydrologiczne: powodzie i susze. Komitet Narodowy IGBP ds. Międzynarodowego Programu Zmiany Geosfery i Biosfery PAN, Poznań, 2006, 169-180.
9. Kuś J., Nawrocki S.: Współczesne rozwiązania w agrotechnice przeciwoerozyjnej. Bibl. Fragm. Agron., 1998, **4B**: 273-283.
10. Pabin J., Kukuła S., Włodek S., Biskupski A., Kaus A.: Wpływ głęboszowania i ugniatania gleby przejazdami ciągników na jej właściwości fizyczne i plony korzeni buraka cukrowego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1998, **460**: 395-403.
11. Parry M. L. (ed): Assessment of potential effects and adaptations for climate change in Europe: The Europe ACACIA Project. Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, United Kingdom, 2000, pp. 324.
12. Smagacz J., Włodek S., Biskupski A., Krasowicz S., Jadczyzsyn J., Nowocień E., Podolski B., Czyż E., Niedźwiecki J., Weber R., Pecio A.: Sprawozdanie z realizacji projektu Nr 6 ZR7 2006C/06735 „Opracowanie i wdrożenie energooszczędnych technik uprawy roli”. IUNG-PIB Puławy, 2009.
13. Starker L.: Klimat a człowiek w transformacji środowiska przyrodniczego polski. W: Długookresowe przemiany krajobrazu Polski w wyniku zmian klimatu i użytkowania ziemi. Komitet Narodowy IGBP ds. Międzynarodowego Programu Zmiany Geosfery i Biosfery PAN, Poznań, 2006, 9-15.

14. Włodek S., Smagacz J., Biskupski A., Krasowicz S., Jadczyzyn J., Nowocień E., Podolski B., Czyż E., Niedźwiecki J.: Sprawozdanie z realizacji projektu Nr 6 PO6 032 2001 C/5741 „Opracowanie i wdrożenie konserwującej technologii uprawy roli dla różnych warunków glebowo-klimatycznych Polski”. IUNG-PIB Puławy, 2005.
15. Włodek S., Biskupski A., Pab in J., K a u s A.: Plonowanie roślin oraz zmiany retencji wodnej gleby w różnych systemach uprawy roli. Inż. Rol., 2007, **3(91)**: 195-200.
16. Z i e m n i c k a A.: Globalne ocieplenie a efektywność opadów atmosferycznych. Acta Agroph., 2004, **3**: 293-397.
17. Zmiana klimatu. Raport syntetyczny IPCC, 2007. <http://www.ipcc-data.org/>

Adres do korespondencji:

dr Jan Jadczyzyn
Zakład Gleboznawstwa Eroзии i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (81) 886 34 21, w. 362
e-mail: janj@iung.pulawy.pl

Wioletta Wrzaszcz

*Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej - PIB
w Warszawie*

**BILANS GLEBOWEJ SUBSTANCJI ORGANICZNEJ
W GOSPODARSTWACH INDYWIDUALNYCH OBJĘTYCH
RACHUNKOWOŚCIĄ ROLNĄ FADN**

Wstęp

Główną cechą rolnictwa zrównoważonego jest zachowanie potencjału produkcyjnego gleby, która jest jednym z podstawowych elementów środowiska przyrodniczego wykorzystywanym w rolnictwie (8). Praktyki rolnicze niedostosowane do warunków glebowych są przyczyną degradacji i zmęczenia gleby¹. Jedną z zasad umożliwiającą prowadzenie produkcji rolniczej w zgodzie z poszanowaniem zasobów przyrodniczych jest umiejętne stosowanie zmianowania i nawożenia roślin, adekwatnie do zasobności i rodzaju gleb. Podstawą wdrażania poprawnych praktyk rolniczych jest co najmniej niedopuszczenie do degradacji substancji organicznej w glebie, a docelowo zwiększenie jej żyzności². Zaplanowane prawidłowo zmianowanie i nawożenie roślin powinno zapewnić dodatnie saldo bilansu substancji organicznej w glebie poprzez odpowiednią relację powierzchni upraw wpływających niekorzystnie na jej zasobność oraz roślin i nawozów naturalnych korzystnie oddziałujących na stan gleby. Właściwa zawartość próchnicy w glebie skutkuje wysokim poziomem i dobrą jakością uzyskiwanych plonów.

¹ Degradacja gleby to zmiany jej właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych, powodujące obniżenie lub zniszczenie aktywności biologicznej gleby. Degradacja pogarsza stan higieniczny środowiska, powoduje zmniejszenie produktywności, a w konsekwencji może doprowadzić do zupełnego wyłączenia gleby z produkcji (źródło: K. Skiba, T. Poskrobko, Katedra Ekonomii Ekologicznej, AE we Wrocławiu, www.kee.ae.wroc.pl). Zmęczenie gleby – to zjawisko polegające na obniżeniu produktywności i urodzajności gleby, m.in. na skutek długotrwałych upraw monokulturowych (uprawianie roślin na tym samym polu). W glebach zmęczonych ubożeje mikroflora, co zwiększa obecność substancji toksycznych. W środowisku tak uprawianych gleb wyraźnie zaznacza się dominacja mikroorganizmów patogennych. (źródło: <http://www.em-projekt.info.pl>).

² Żyzność gleby to zespół fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwości gleby zapewniający roślinom odpowiednie warunki wzrostu (odpowiednie składniki pokarmowe, wodę i powietrze glebowe). Naturalna żyzność gleby jest wynikiem procesu glebotwórczego i zależy od zawartości w glebie m.in.: koloidów glebowych, związków mineralnych, próchnicy, drobnoustrojów. Żyzność gleby zwiększa się m.in. poprzez odpowiednie nawożenie, uprawę, stosowanie płodozmianu i meliorację. Żyzność gleby decyduje o rolniczej produktywności gleby (źródło: <http://www.geozone.pl>).

Według IUNG-PIB, jedną z głównych cech zrównoważenia gospodarstwa rolnego jest zbilansowanie glebowej substancji organicznej, co jest uznane za ważny wskaźnik ekologiczny (8), istotny element oceny organizacji produkcji roślinnej (7) oraz podstawową zasadę poprawnego gospodarowania w rolnictwie (9). Substancja organiczna gleby jest zbiorem wszystkich związków organicznych, poza nierozłożonymi częściami roślin, resztkami zwierząt i żywymi mikroorganizmami (6). Materia organiczna i jej przemiany w związki próchniczne odgrywają zasadniczą rolę w tworzeniu i utrzymywaniu żyzności gleby na wysokim poziomie, czyli korzystnych dla wzrostu i plonowania roślin właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych. Próchnica właściwa³ może stanowić nawet 90% ogólnej zawartości substancji organicznej w glebie. W wyniku mineralizacji ubywa rocznie 2-4% substancji organicznej z gleby, należy więc dążyć do utrzymywania jej dodatniego bilansu (7).

Saldo glebowej substancji organicznej zależy od doboru uprawianych gatunków roślin oraz ich udziału w strukturze zasiewów, jak również ilości i rodzaju stosowanych nawozów naturalnych i organicznych. Bilans ten sporządzany jest tylko dla gruntów ornych, gdyż pod trwałą okrywą roślinną na użytkach zielonych saldo bilansu zawsze przyjmuje wartości dodatnie (4). Nagromadzenie (reprodukcja) substancji organicznej następuje pod wieloletnimi uprawami polowymi, takimi jak rośliny motylkowate oraz ich mieszańki z trawami, a szczególnie na trwałych użytkach zielonych. Dodatnie saldo bilansu substancji organicznej świadczy o dobrym zmianowaniu, systematycznym wzbogaceniu gleby w próchnicę, a także o stopniowym rozkładzie substancji organicznej w glebie gwarantującym właściwe zaopatrywanie uprawianych roślin w składniki pokarmowe w ciągu całego okresu wegetacji. Procesy rozkładu (degradacji) występują pod roślinami okopowymi, kukurydzą, a w mniejszym stopniu pod roślinami zbożowymi. Zmiana trwałych użytków zielonych na grunty orne powoduje szybki rozkład i ubytek zawartości substancji organicznej. Ujemne saldo bilansu substancji organicznej wskazuje na konieczność zmiany sposobu gospodarowania (np. wprowadzenie ochronnej uprawy gleby, zwiększenie udziału roślin wieloletnich w zmianowaniu, jak również ilości nawozów naturalnych oraz masy poplonów). Utrzymujące się przez kilka lat ujemne saldo może spowodować degradację gleby, utratę jej żyzności i produktywności. Kolejnym negatywnym skutkiem degradacji jest uwalnianie się dużej ilości składników mineralnych, w tym azotu, co prowadzi do zanieczyszczenia wód gruntowych i powierzchniowych (3).

Celem pracy był identyfikacja i charakterystyka indywidualnych gospodarstw rolnych objętych systemem FADN, cechujących się zróżnicowanym saldem bilansu glebowej substancji organicznej.

³ Próchnica właściwa (humus), czyli względnie trwałe, bezpostaciowe, ciemno zabarwione produkty przetworzenia w glebie wyjściowych substancji roślinnych i zwierzęcych oraz ich różne połączenia z mineralnymi komponentami masy glebowej (źródło: <http://slownik.ekologia.pl/>).

Metodyka

Na potrzeby niniejszej pracy wykorzystano dane statystyczne Polskiego FADN, czyli Systemu Zbierania i Wykorzystywania Danych Rachunkowych z Gospodarstw Rolnych (ang. Farm Accountancy Data Network – FADN)⁴. Zakres badawczy obejmował wszystkie gospodarstwa indywidualne prowadzące rachunkowość rolną w 2007 r., tj. 12 038 gospodarstw rolnych. Z tej zbiorowości wyodrębniono gospodarstwa z użytkowanymi gruntami ornymi, tj. 11 797 gospodarstw. Obliczenia zostały wykonane na poziomie gospodarstwa rolnego, a następnie dokonano agregacji wyników według przyjętych kryteriów, tj. salda bilansu substancji organicznej w układzie regionalnym i według poziomu wytwarzanej standardowej nadwyżki bezpośredniej oraz ogólnego typu rolniczego. Uzyskane wyniki zaprezentowano na tle całej zbiorowości gospodarstw indywidualnych FADN.

Dane rachunkowości rolnej reprezentują wyniki polskiego rolnictwa towarowego, w tym wyniki gospodarstw indywidualnych oraz posiadających osobowość prawną, ujęte w układzie regionalnym, według grup wielkości ekonomicznej gospodarstw oraz według typów rolniczych informujących o ich specjalizacji. Minimalna wielkość gospodarstwa rolnego objętego systemem FADN w Polsce to 2 ESU (ang. European Size Unit – Europejska Jednostka Wielkości). Każdy kraj należący do Unii Europejskiej określa indywidualnie minimalne progi wielkości ekonomicznej gospodarstw rolnych, które uczestniczą w systemie FADN. Wspólnym kryterium jest pole obserwacji gospodarstw rolnych, w którym mieszczą się gospodarstwa wytwarzające w danym kraju członkowskim co najmniej 90% wartości standardowej nadwyżki bezpośredniej. Z powodu istniejących różnic w strukturze agrarnej poszczególnych krajów członkowskich minimalne progi wielkości ekonomicznej gospodarstw rolnych włączonych do pola obserwacji FADN są różne⁵.

Wielkość (siła) ekonomiczna (ESU) to miernik potencjału produkcyjnego gospodarstw rolnych uwzględniający wszystkie czynniki produkcji, jakimi dysponuje gospodarstwo rolne. Jedno ESU stanowi równowartość 1 200 euro. Wielkość ekonomiczna określana jest za pomocą sumy standardowych nadwyżek bezpośrednich wszystkich działalności występujących w gospodarstwie rolnym. Standardowa nadwyżka bezpośrednia (ang. Standard Gross Margin – SGM) dotycząca danej uprawy lub zwierzęcia, to standardowa (średnia z trzech lat w określonym regionie) wartość produkcji uzyskiwana z jednego hektara lub od jednego zwierzęcia pomniejszona o standardowe koszty bezpośrednie niezbędne do wytworzenia tej produkcji (5).

Typ rolniczy gospodarstwa jest określany na podstawie udziału poszczególnych działalności w tworzeniu ogólnej wartości standardowej nadwyżki bezpośredniej. Według typologii FADN gospodarstwa, w których żadna z działalności nie przekracza

⁴ <http://www.fadn.pl/>

⁵ Dolny próg wielkości ekonomicznej ESU kształtuje się od 1 ESU w Bułgarii i Rumunii, 2 ESU m.in. w Polsce, Grecji, na Cyprze i Węgrzech, do 16 ESU w Wielkiej Brytanii, Belgii, Holandii i w Niemczech (źródło: 2009 (2)).

1/3 SGM są określane jako „mieszane”, te w których udział dwóch działalności zawiera się w przedziale od 1/3 do 2/3 SGM noszą miano „dwubiegunowych”, natomiast gdy udział jednej działalności przekracza 2/3 SGM nazywane są „specjalistycznymi” (5).

W pracy przyjęto zasady klasyfikacji gospodarstw rolnych stosowane w systemie FADN. W związku z tym badane gospodarstwa podzielono na grupy według ich wielkości ekonomicznej, tj. bardzo małe (do 4 ESU), małe (4-8 ESU), średnio małe (8-16 ESU), średnio duże (16-40 ESU), duże (40-100 ESU), bardzo duże (powyżej 100 ESU). Gospodarstwa zostały również podzielone ze względu na ogólny typ rolniczy (1), a mianowicie:

- typ 1 – specjalizujące się w uprawach polowych;
- typ 2 – specjalizujące się w uprawach ogrodnich;
- typ 3 – specjalizujące się w uprawach trwałych;
- typ 4 – specjalizujące się w chowie zwierząt żywionych w systemie wypasowym;
- typ 5 – specjalizujące się w chowie zwierząt żywionych paszami treściwymi;
- typ 6 – różne uprawy łącznie;
- typ 7 – różne zwierzęta łącznie;
- typ 8 – różne uprawy i zwierzęta łącznie.

Posługując się danymi indywidualnymi o poszczególnych gospodarstwach dotyczącymi struktury użytkowania i zasiewów gruntów, wielkości zbiorów poszczególnych gatunków roślin, pogłowia i klasy zwierząt, przygotowano metodologię obliczania salda bilansu glebowej substancji organicznej na poziomie indywidualnego gospodarstwa rolnego. Metodologię obliczania bilansu substancji organicznej jaką posługuje się IUNG-PIB dostosowano do dostępnych danych statystycznych, przyjmując założenia dotyczące produkcji nawozów naturalnych oraz produkcji i rozdysponowania słomy w badanych gospodarstwach rolnych.

Bilans substancji organicznej (BSO) został obliczony jako relacja sumy iloczynów powierzchni uprawianych roślin, masy produkowanych nawozów naturalnych, masy słomy potencjalnie przeznaczonej na przyoranie oraz odpowiadających im współczynników reprodukcji lub degradacji w stosunku do powierzchni zasiewów na gruntach ornych w danym gospodarstwie rolnym (tab. 1).

Saldo bilansu glebowej substancji organicznej obliczono według wzoru:

$$\text{Saldo BSO} = \frac{\sum \{(x_i \times w_i) + (y_j \times w_j)\}}{\sum x_i}$$

gdzie:

x_i – powierzchnia zasiewów poszczególnych grup roślin (ha)

y_j – ilość nawozów naturalnych, słomy (t)

w_i – współczynniki reprodukcji i degradacji substancji organicznej dla poszczególnych grup roślin

w_j – współczynniki reprodukcji dla nawozów naturalnych, słomy

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

$j = 1, 2, 3, \dots, m$

Σx_i – powierzchnia zasiewów na gruntach ornych w gospodarstwie rolnym (ha)

Tabela 1

Współczynniki reprodukcji (+) i degradacji (-) substancji organicznej dla gleb średnich

Lp.	Roślina lub nawóz	Jednostka	Współczynnik
1.	Okopowe	1 ha	-1,40
2.	Kukurydza i warzywa	1 ha	-1,15
3.	Zboża, oleiste i włókniste	1 ha	-0,53
4.	Strączkowe	1 ha	+0,35
5.	Trawy	1 ha	+1,05
6.	Motylkowate	1 ha	+1,96
7.	Międzyplony na zielony nawóz	1 ha	+0,70
8.	Słoma na przyoranie (85% s.m.)	1 t	+0,18
9.	Obornik (20% s.m.)	1 t	+0,07

Źródło: Harasim, 2006 (7) i Pruszek, 2006 (11).

Do grup roślin wymienionych w tabeli 1 zaliczono:

1. okopowe – ziemniak, burak cukrowy, okopowe pastewne;
2. kukurydza, warzywa – kukurydza na ziarno, kukurydza pastewna na zielonkę, warzywa w uprawie polowej;
3. zboża, oleiste i włókniste – zboża (bez kukurydzy), w tym mieszanki zbożowe, rzepak i rzepik, słonecznik, len i lnianka, konopie, pozostałe oleiste i włókniste;
4. strączkowe – strączkowe na nasiona suche, w tym strączkowe jadalne, strączkowe pastewne, mieszanki strączkowych z innymi roślinami, strączkowe na zielonkę;
5. trawy – trawy w uprawie polowej na zielonkę;
6. motylkowate – motylkowate drobnonasienne na zielonkę;
7. międzypłony na zielony nawóz – uprawy roślin przeznaczonych na zielony nawóz.

Powierzchnię pod roślinami niezakwalifikowanymi do powyżej wyszczególnionych grup roślin (wynikającą z różnicy między zasiewami na gruntach ornych i łączną powierzchnią pod wymienionymi grupami roślin) potraktowano jako neutralną, czyli przypisano współczynnik „0”. Współczynniki reprodukcji i degradacji materii organicznej informują ile ton substancji organicznej nagromadziło się (współczynniki reprodukcji ze znakiem „+”) lub uległo rozkładowi w glebie (współczynniki degradacji ze znakiem „-”) na powierzchni 1 hektara uprawy poszczególnych roślin lub ile substancji organicznej nagromadziło się w wyniku zastosowania 1 tony nawozów naturalnych i słomy na hektar (3, 10). Rośliny okopowe, kukurydza i warzywa silnie zubożają glebę, natomiast rośliny motylkowate wieloletnie, ich mieszanki z trawami, międzypłony na zielony nawóz oraz nawozy naturalne wzbogacają ją w materię organiczną. W przypadku zbóż, roślin oleistych i włóknistych w okresie roku ulega degradacji ponad 0,5 t próchnicy na 1 hektar.

Zbiorowość badanych gospodarstw FADN podzielono na dwie grupy, a mianowicie: gospodarstwa rolne cechujące się ujemnym i dodatnim saldem bilansu substancji organicznej w glebie. Pierwsza grupa gospodarstw charakteryzowała się zbyt niskim

i niepożądanym poziomem substancji organicznej, świadczącym o postępującym procesie degradacji gleby. W gospodarstwach tych wskazana jest zmiana praktyk rolniczych, a w szczególności zwiększenie nawożenia naturalnego i wzrost udziału roślin strukturotwórczych w zasiewach na gruntach ornych. Druga grupa to gospodarstwa, w których gromadzona jest substancja organiczna w glebie, a jej poziom przyczynia się nie tylko do zachowania potencjału produkcyjnego i urodzajności gleby, ale również do większej wydajności ziemniaków. Tak wyodrębnione grupy gospodarstw rolnych poddano analizie porównawczej. Charakterystykę gospodarstw rolnych zawężono do rozpoznania ich liczebności (również w układzie wojewódzkim), przedstawienia cech głównych czynników produkcji, organizacji produkcji roślinnej i zwierzęcej oraz wyników produkcyjno-ekonomicznych (12).

Określanie wielkości zbioru słomy i jej ilości na potrzeby gospodarskie

Wielkość zbioru słomy w gospodarstwie rolnym obliczono jako sumę iloczynów powierzchni uprawy zbóż, roślin strączkowych, rzepaku i rzepiku, ich plonu głównego oraz współczynnika charakteryzującego relację plonu ubocznego (słomy) do plonu głównego. Poniżej przedstawiono trzy etapy obliczeń.

1. Przy obliczaniu plonu ubocznego uprawianych roślin, tj. słomy, wykorzystano uśrednione współczynniki dla poszczególnych gatunków i grup roślin (tab. 2). Posługując się danymi dotyczącymi powierzchni i plonów roślin uprawianych w poszczególnych gospodarstwach (objętych systemem FADN) oraz przyjętymi współczynnikami obliczono zbiory słomy w każdym z badanych gospodarstw rolnych.

2. Z całkowitego zbioru słomy w danym gospodarstwie oszacowano ilość, która potencjalnie mogła zostać przeznaczona na przyoranie. W związku z tym badane gospodarstwa podzielono na dwie grupy, tj. na bezinwentarzowe i z inwentarzem. W gospodarstwach bezinwentarzowych założono, że cały zbiór słomy będzie przeznaczony na przyoranie i tę wielkość uwzględniono w bilansie glebowej substancji orga-

Tabela 2

Stosunek plonu ubocznego (słomy) do plonu głównego wybranych roślin

Lp.	Wyszczególnienie	Współczynnik
1.	Pszenica jara	0,94
2.	Pszenica ozima	0,91
3.	Żyto jare i ozime	1,44
4.	Jęczmień jary	0,86
5.	Jęczmień ozimy	0,87
6.	Owies	1,08
7.	Pszenżyto	1,13
8.	Mieszanki zbożowe	0,90
9.	Rzepak i rzepik	0,80
10.	Kukurydza na ziarno	1,00
11.	Strączkowe*	1,00

* gatunki roślin strączkowych uwzględnione w badaniach własnych: bobik, groch pastewny, łubin słodki, wyka
Źródło: opracowano na podstawie: Harasim, 2006 (7) i Kuś i in., 2006 (10).

nicznej. Natomiast w gospodarstwach z inwentarzem założono, że ilość słomy jaka mogła zostać przeznaczona na przyoranie jest wynikiem różnicy pomiędzy zbiorem słomy a jej zużyciem na ściółkę i paszę.

3. Ilość słomy przeznaczonej na ściółkę obliczono jako iloczyn liczby sztuk dużych (SD) inwentarza (cały inwentarz) w gospodarstwie i współczynnika 1,5. Współczynnik 1,5 oznacza, że przeciętne roczne zużycie słomy na ściółkę w przeliczeniu na jedną sztukę dużą wynosi 1,5 tony. Natomiast ilość słomy przeznaczonej na paszę obliczono jako iloczyn liczby sztuk dużych inwentarza, tj. bydło, konie, owce w gospodarstwie i współczynnika 0,8. Współczynnik 0,8 oznacza, że roczne zużycie słomy na paszę w przeliczeniu na sztukę dużą wynosi 0,8 tony⁶. Ustaloną ilość słomy, która potencjalnie mogła być przeznaczona na przyoranie pomnożono przez współczynnik reprodukcji. Otrzymany wynik uwzględniono w sumarycznym wzorze na bilans glebowej substancji organicznej w gospodarstwie rolnym.

W ramach rachunkowości rolnej FADN nie jest monitorowany system utrzymania zwierząt ani rodzaj produkowanego nawozu naturalnego. W związku z tym, aby obliczyć potencjalną ilość nawozów naturalnych pochodzenia zwierzęcego założono, że jedna sztuka duża inwentarza żywego w gospodarstwie rolnym produkuje 10 ton obornika rocznie. Mnożąc średnioroczny stan zwierząt gospodarskich wyrażony w sztukach przeliczeniowych przez współczynnik 10 obliczono potencjalną ilość wytworzonego nawozu naturalnego w danym gospodarstwie. Ilość substancji organicznej pochodzącej z nawozów naturalnych obliczono jako iloczyn współczynnika reprodukcji i masy wyprodukowanego obornika w gospodarstwie rolnym.

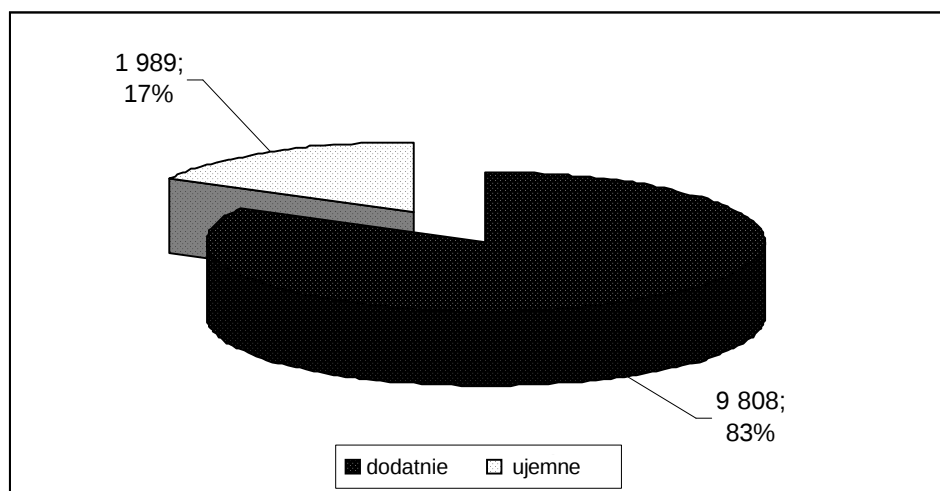
Saldo bilansu substancji organicznej na 1 ha zasiewów na gruntach ornych na poziomie gospodarstwa rolnego obliczono według przedstawionego wzoru. Otrzymane wyniki pozwoliły na wyodrębnienie grup gospodarstw o dodatnim (+) i ujemnym (-) saldzie bilansu glebowej substancji organicznej.

⁶ Są trzy sposoby utrzymywania zwierząt (inaczej typy pomieszczeń inwentarskich), tzn. na płytkiej ściółce, na głębokiej ściółce i bezściółkowy (gnojowicowy). Szacuje się, że w kraju 80% zwierząt jest utrzymywane na płytkiej ściółce, 15-20% na głębokiej i 3-5% w pomieszczeniach bezściółkowych. W analizie przyjęto, że 100% stanowią pomieszczenia inwentarskie z płytką ściółką. Założono, że większe zużycie słomy w pomieszczeniach z głęboką ściółką jest kompensowane jej oszczędnością w budynkach inwentarskich bezściółkowych. Przyjęto, że zapotrzebowanie dzienne na słomę-paszę wynosi około 2 kg, czyli 0,8 tony na 1 SD przeżywający na rok. Założenia te, jak i współczynniki 1,5 oraz 0,8 przyjęto zgodnie z pracą Kusia i in., 2006 (10). W systemie FADN, sztuki duże zwierząt wyrażone są w tzw. jednostkach przeliczeniowych zwierząt. W tym celu FADN posługuje się następującymi współczynnikami (2):

konie	: 0,8	krowy mleczne	: 1,0	lochy	: 0,5
cielęta na tucz	: 0,4	krowy wybrakowane	: 1,0	tucznik	: 0,3
cielęta < 1 rok	: 0,4	krowy pozostałe	: 0,8	trzoda pozostała	: 0,3
byczki 1-2 lata	: 0,7	matki kozie	: 0,1	brojlery	: 0,007
jałówki 1-2 lata	: 0,7	kozy pozostałe	: 0,1	kury nioski	: 0,014
byki ≥ 2 lata	: 1,0	matki owcze	: 0,1	drób pozostały	: 0,03
jałówki hodowlane	: 0,8	owce pozostałe	: 0,1		
jałówki na tucz	: 0,8	prosięta	: 0,027		

Wyniki

Wśród gospodarstw indywidualnych przeważały te, które cechowały się dodatnim saldem bilansu substancji organicznej w glebie i stanowiły one ponad 80% populacji badanych jednostek w systemie FADN (rys. 1). Przeciętne saldo bilansu w całej zbiorowości gospodarstw kształtowało się na poziomie $0,45 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. W grupie gospodarstw o dodatnim saldzie próchnicy przeciętne saldo wyniosło $0,63 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, natomiast wśród gospodarstw o ujemnym saldzie poziom miał wartość $-0,26 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Z tego wynika, że różnica wielkości sald między badanymi grupami była znacząca.

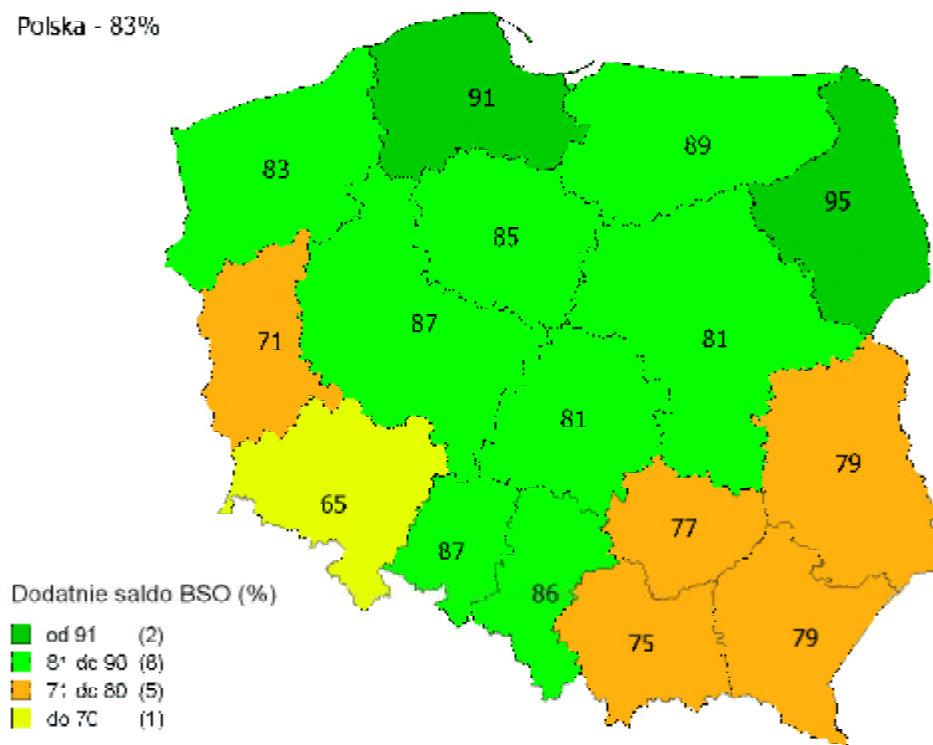


Rys. 1. Struktura gospodarstw indywidualnych według salda bilansu substancji organicznej w glebie
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN.

Udział gospodarstw o dodatnim saldzie próchnicy był zróżnicowany regionalnie i wahał się od 65% w województwie dolnośląskim do 95% w województwie podlaskim (rys. 2). Najwięcej gospodarstw o korzystnym saldzie bilansu substancji organicznej odnotowano w województwach północnych oraz w centralnej części Polski, najmniej natomiast w południowo-wschodniej i zachodniej Polsce. Określone salda bilansu na poziomie województw w każdym regionie przybierały wartości dodatnie, co uznano za zjawisko pozytywne (rys. 3). Najwyższe saldo bilansu stwierdzono w województwach podlaskim oraz wielkopolskim. Województwa z zachodniej, południowej i południowo-wschodniej części Polski to regiony o relatywnie najniższym poziomie salda dodatniego.

Gospodarstwa z dodatnim saldem bilansu substancji organicznej (BSO+) różniły się pod względem podstawowych cech świadczących o ich potencjale produkcyjnym w porównaniu ze zbiorowością o ujemnym saldzie (BSO-); (tab. 3). Jedynie przeciętna powierzchnia użytków rolnych w badanych grupach gospodarstw była zbliżona (różnica 12%). Główne różnice stwierdzono w odniesieniu do obsady zwierząt i nakła-

Polska - 83%



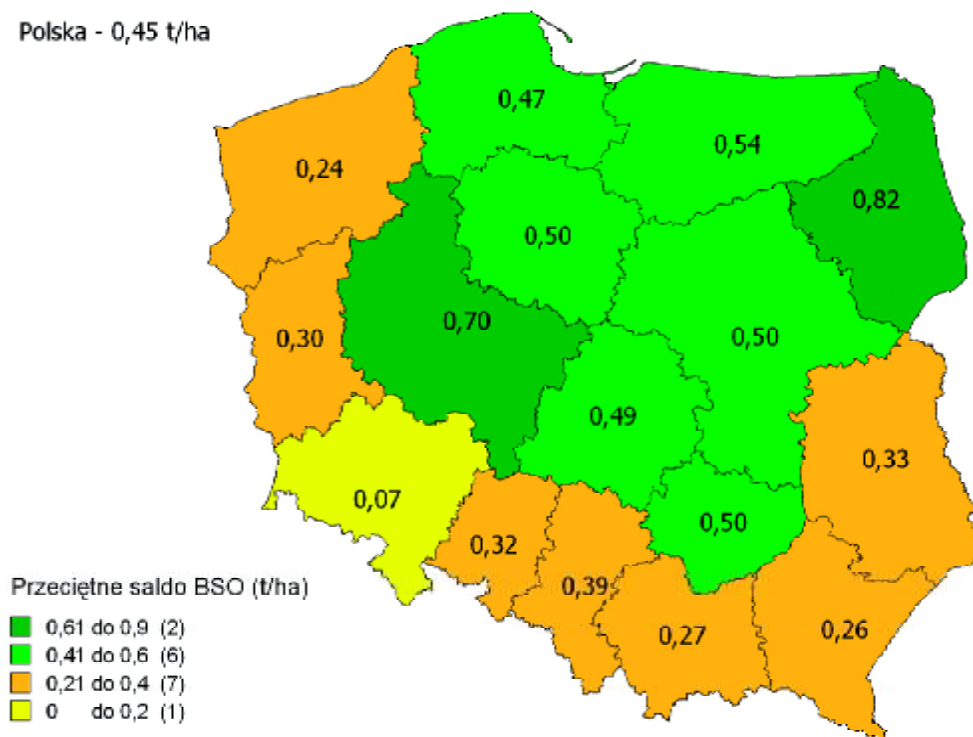
Rys. 2. Udział gospodarstw o dodatnim saldzie bilansu substancji organicznej w glebie według województw

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN.

dów pracy. Gospodarstwa o dodatnim saldzie bilansu cechowały się 10-krotnie wyższą obsadą zwierząt na użytkach rolnych, ale jednocześnie mniejszą pracochłonnością (o 24%) w porównaniu z drugą grupą. Gospodarstwa z ujemnym saldem bilansu dysponowały zaledwie 3% ogólnego pogłowia zwierząt, jaki posiadały badane gospodarstwa. W rezultacie wartość generowanej standardowej nadwyżki bezpośredniej była wyższa o 18% w gospodarstwach z korzystnym saldem bilansu na tle gospodarstw z ujemnym wynikiem bilansowym. Przedstawione statystyki świadczą o roli jaką odgrywa produkcja zwierzęca w kształtowaniu dodatniego salda bilansu substancji organicznej, jak również siły ekonomicznej gospodarstw rolnych.

Z analizy struktury gospodarstw według powierzchni użytków rolnych wynika, że wśród gospodarstw z ujemnym saldem bilansu substancji organicznej wystąpiło ponad trzy razy więcej małych gospodarstw (o powierzchni użytków rolnych do 5 ha) w porównaniu z ich udziałem w gospodarstwach z saldem dodatnim (rys. 4). Jednocześnie w zbiorowości gospodarstw z ujemnym saldem stwierdzono relatywnie mniejszy udział gospodarstw o średniej i dużej powierzchni, tj. 15-100 ha (łącznie różnica 13 p.p.) oraz prawie 2-krotnie większy odsetek jednostek o powierzchni ponad 100 ha w porównaniu z występującymi w grupie o korzystnym saldzie bilansu (odpowiednio 7

Polska - 0,45 t/ha



Rys. 3. Przeciętne saldo bilansu substancji organicznej w glebie według województw
 Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN.

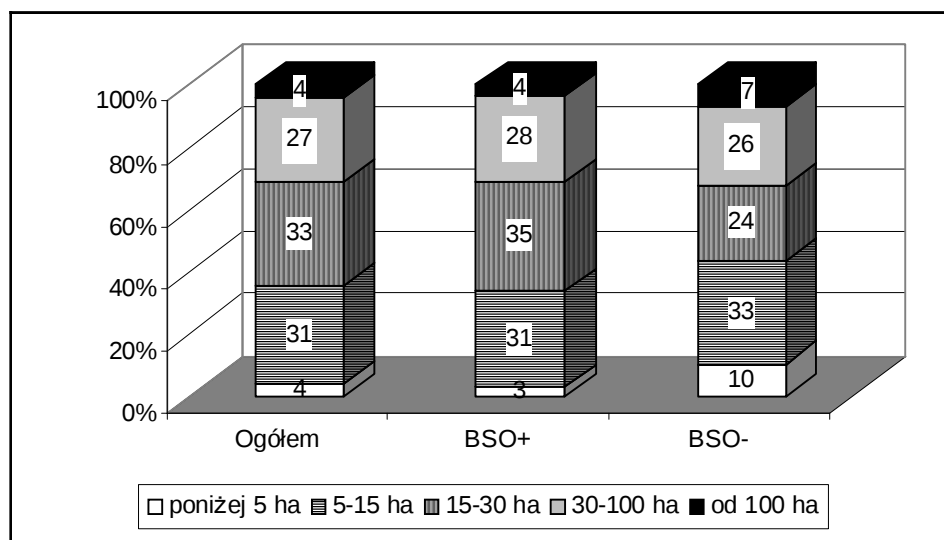
Tabela 3

Podstawowe cechy potencjału produkcyjnego gospodarstw
 według salda bilansu substancji organicznej w glebie (BSO)

Lp.	Wyszczególnienie	Ogółem	BSO+	BSO-
1.	Powierzchnia użytków rolnych na gospodarstwo (ha)	31,9	31,2	35,5
2.	Powierzchnia zasiewów na gospodarstwo (ha)	27,4	26,4	32,6
3.	Obsada zwierząt ($SD \cdot ha^{-1}$ UR)	0,8	1,0	0,1
4.	Liczba pełnozatrudnionych na gospodarstwo (AWU)	2,0	1,9	2,5
5.	Standardowa nadwyżka bezpośrednia na gospodarstwo (ESU)	21,1	21,6	18,3
6.	Powierzchnia użytków rolnych (%)	100	81	19
7.	Udział zasiewów na gruntach ornych w pow. UR (%)	85,8	84,5	91,7
8.	Pogłowie zwierząt inwentarskich w SD (%)	100	97	3
9.	Udział pełnozatrudnionych (%)	100	79	21
10.	Standardowa nadwyżka bezpośrednia (%)	100	85	15

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN.

i 4%). Reasumując, struktura gospodarstw o ujemnym saldzie bilansu substancji organicznej wyróżniła się ponadprzeciętnym (2-krotnie większym) udziałem gospodarstw bardzo małych (do 5 ha) i bardzo dużych (powyżej 100 ha). Gospodarstwa o co naj-

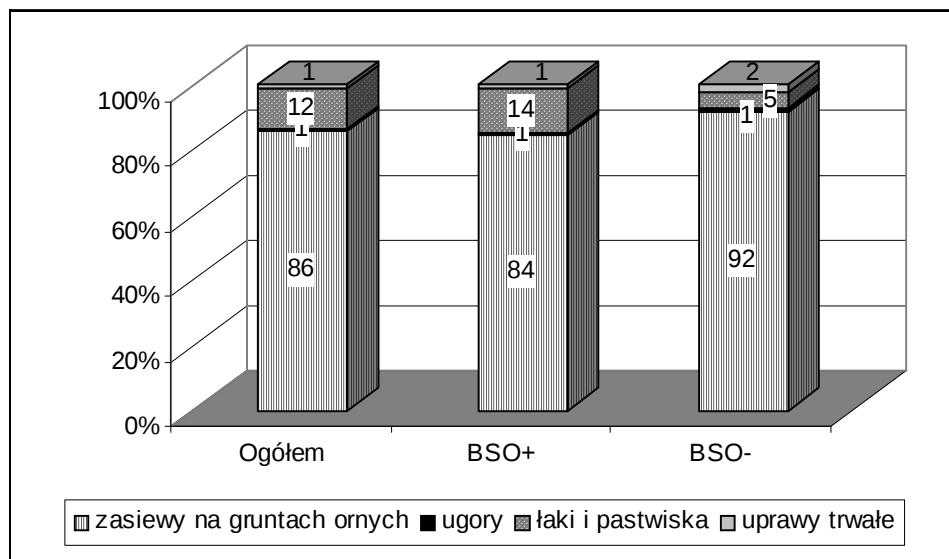


Rys. 4. Struktura gospodarstw indywidualnych według powierzchni użytków rolnych
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN.

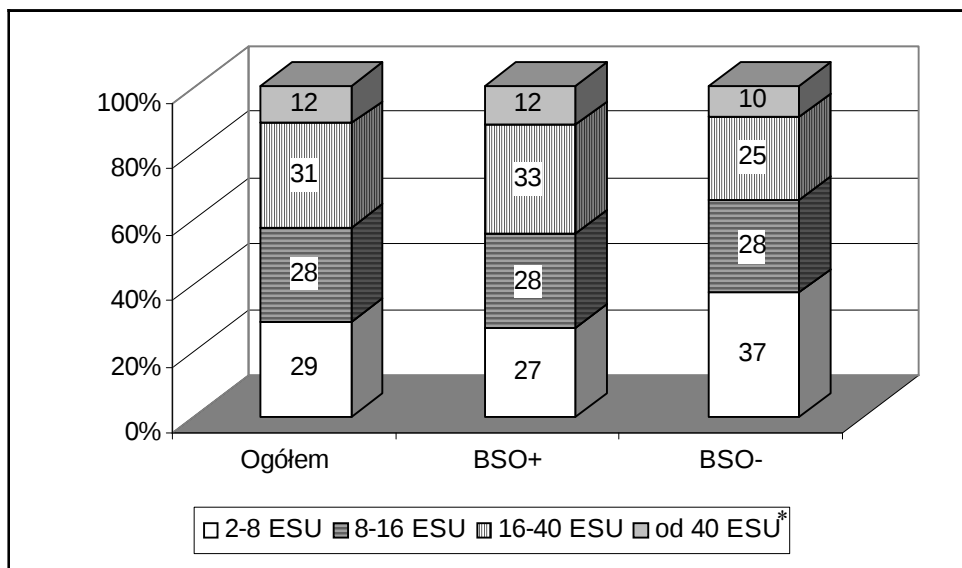
mniej zrównoważonym saldzie próchnicy w glebie cechowały się bardziej różnorodną strukturą użytkowania gruntów rolnych, a w szczególności większym udziałem trwałych użytków zielonych (rys. 5). Różnice w strukturze użytków rolnych wiązały się z odmienną obsadą zwierząt oraz częstością podejmowania kierunku produkcji zwierzęcej w badanych grupach gospodarstw. Struktura użytków rolnych i kierunek produkcji znalazły odzwierciedlenie w wartości wytwarzanej standardowej nadwyżki bezpośredniej wyrażonej w ESU (rys. 6). Większa przeciętna siła ekonomiczna gospodarstw z dodatnim bilansem substancji organicznej wynikała z bardziej korzystnej struktury ekonomicznej. W tej grupie stwierdzono łącznie o 10 p.p. mniej gospodarstw bardzo małych i małych (do 8 ESU), a jednocześnie więcej dużych (powyżej 16 ESU) w porównaniu z ich udziałem w grupie o niekorzystnym saldzie bilansu substancji organicznej.

Gospodarstwa o zróżnicowanym (+, -) saldzie substancji organicznej podzielono według typu rolniczego (rys. 7). Wśród gospodarstw o dodatnim saldzie bilansu 18% było ukierunkowanych na produkcję roślinną (typy 1, 2, 3 i 6), natomiast w drugiej grupie aż 83%. W związku z tym gospodarstwa ukierunkowane na produkcję zwierzęcą (typy 4, 5 i 7) stanowiły w pierwszej zbiorowości 60%, a w drugiej tylko 2%. Dane te świadczą również o znaczeniu produkcji zwierzęcej, a dokładniej nawozów naturalnych w kształtowaniu korzystnego salda bilansu substancji organicznej w glebie.

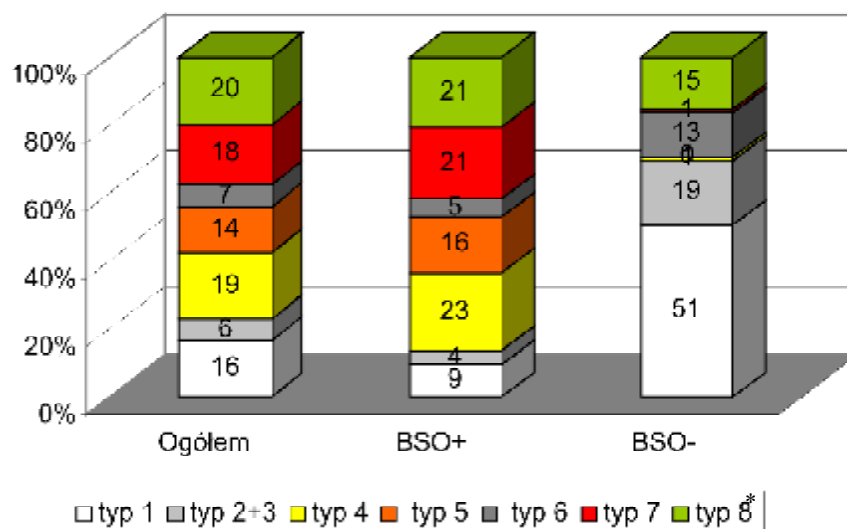
Ważnym elementem kształtującym saldo bilansu substancji organicznej była struktura zasiewów (tab. 4). Rośliny okopowe, warzywa i kukurydza mają szczególne właściwości destrukcyjne przyczyniające się do zubożenia gleby w próchnicę, podobnie



Rys. 5. Struktura powierzchni użytków rolnych w gospodarstwach indywidualnych
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN.



Rys. 6. Struktura gospodarstw indywidualnych według wielkości ekonomicznej
* gospodarstwa rolne według ESU: bardzo małe (< 4 ESU), małe (4-8 ESU), średnio małe (8-16 ESU), średnio duże (16-40 ESU), duże (> 40 ESU)
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN.



Rys. 7. Struktura gospodarstw indywidualnych według typu rolniczego

* gospodarstwa rolne według typu rolniczego: 1 – spec. w uprawach polowych, 2 – spec. w uprawach ogrodnich, 3 – spec. w uprawach trwałych, 4 – spec. w chowie zwierząt żywionych w systemie wypasowym, 5 – spec. w chowie zwierząt żywionych paszami treściwymi, 6 – różne uprawy łącznie, 7 – różne zwierzęta łącznie, 8 – różne uprawy i zwierzęta łącznie

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN.

jak rośliny zbożowe i przemysłowe, choć te ostatnie w mniejszym stopniu. Ich wpływ na zmiany właściwości gleby charakteryzują współczynniki degradacji substancji organiczej. W związku z tym nie są zaskakujące różnice w przeciętnej strukturze zasiewów badanych grup gospodarstw. Udział roślin okopowych, kukurydzy i warzyw w powierzchni zasiewów był ponad 2,5-krotnie większy w grupie gospodarstw z ujemnym saldem substancji organiczej w porównaniu z wykazującymi dodatnie saldo bilansu. Natomiast udział roślin strukturotwórczych w zasiewach na gruntach ornych był większy w gospodarstwach o korzystnym saldzie próchnicy.

Tabela 4

Struktura powierzchni zasiewów na gruntach ornych w gospodarstwach indywidualnych według salda bilansu substancji organiczej

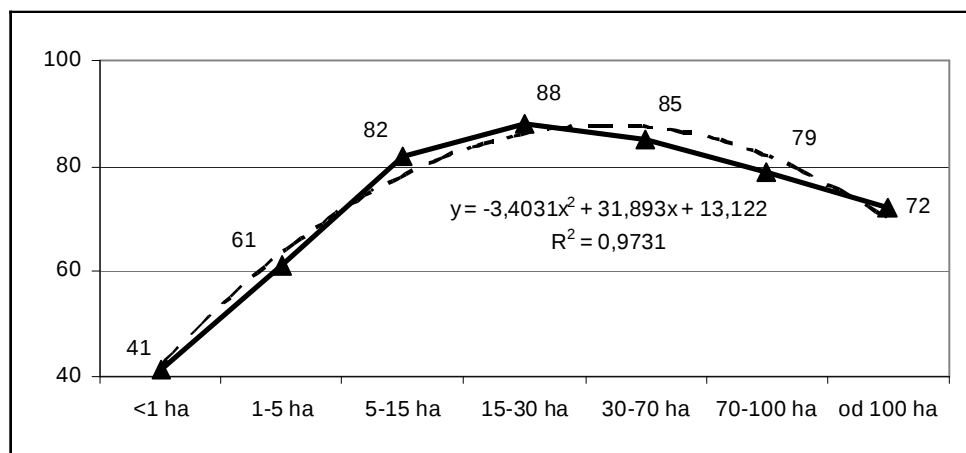
Lp.	Wyszczególnienie	Ogółem	BSO+	BSO-
1.	Okopowe	6,3	4,9	12,0
2.	Kukurydza i warzywa	8,9	6,7	17,6
3.	Zboża, oleiste i włókniste	78,2	80,9	67,1
4.	Strączkowe	1,3	1,5	0,8
5.	Trawy i motylkowate	3,4	4,2	0,4
6.	Międzyplony na zielony nawóz	6,2	7,3	1,5

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN.

Ze względu na stosunkowo mały udział roślin strukturotwórczych w przeciętnej strukturze zasiewów na gruntach ornych, a jednocześnie duży udział roślin, których uprawa skutkuje zubożeniem gleby w próchnicę zasadniczym elementem w reprodukcji substancji organicznej w glebie jest stosowanie nawozów naturalnych i przyorywanie słomy. Z tych źródeł pokrywane są ubytki substancji organicznej w przeważającej części gospodarstw (10).

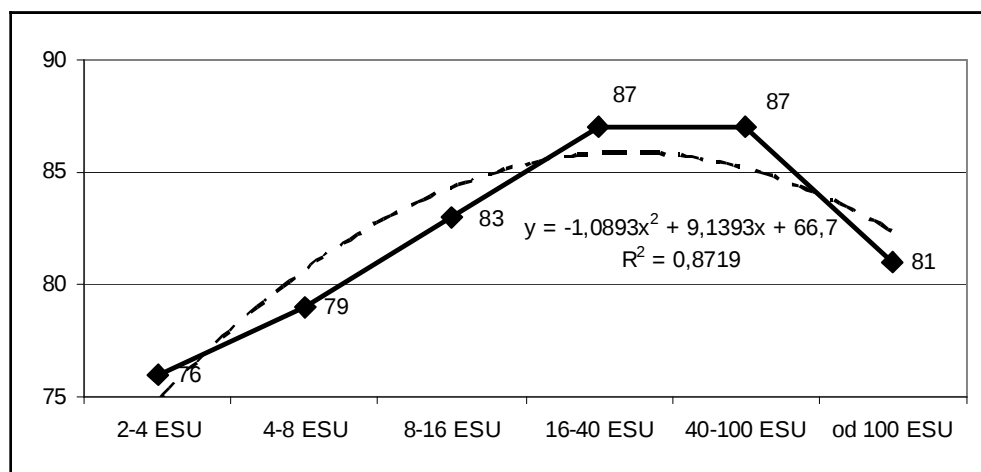
W zależności od powierzchni użytkowanych gruntów rolnych udział gospodarstw o dodatnim saldzie bilansu substancji organicznej kształtował się od 41% wśród gospodarstw o powierzchni poniżej 1 ha do 88% dla gospodarstw o areale 15-30 ha (rys. 8). W tym przedziale wielkości gospodarstw stwierdzono dodatni związek ich areалу i korzystnego salda bilansu substancji organicznej. W przypadku powierzchni większej niż 30 ha stwierdzono zmniejszający się udział gospodarstw z pożądanym saldem próchnicy (85% w grupie 30-70 ha, 72% w grupie powyżej 100 ha). Przedstawione dane liczbowe wskazują, iż największy problem ze zbilansowaniem glebowej substancji organicznej występuje w mikrogospodarstwach (o powierzchni do 1 ha), małych gospodarstwach (1-5 ha) oraz wielkoobszarowych (powyżej 100 ha).

Podobne zależności stwierdzono w przypadku wartości standardowej nadwyżki bezpośredniej i salda bilansu próchnicy (rys. 9). Gospodarstwa o wielkości ekonomicznej 16-100 ESU najczęściej cechowały się dodatnim saldem bilansu próchnicy (87%), natomiast gospodarstwa bardzo małe, tj. do 4 ESU najrzadziej (76%). Liczby te wskazują na możliwość pogodzenia produkcji rolniczej przyjaznej dla środowiska naturalnego z relatywnie korzystnymi wynikami ekonomicznymi. Wzrost wielkości ekonomicznej gospodarstwa rolnego nie wyklucza jego zrównoważenia w aspekcie środowiskowym. Oczywiście, przy pewnym wysokim poziomie wielkości ekonomicznej gospodarstwa rolnego zachodzi konieczność wyboru między zbilansowaną pro-



Rys. 8. Udział gospodarstw o dodatnim saldzie bilansu substancji organicznej w grupach gospodarstw według powierzchni użytków rolnych

Źródło: opracowanie na podstawie danych FADN.



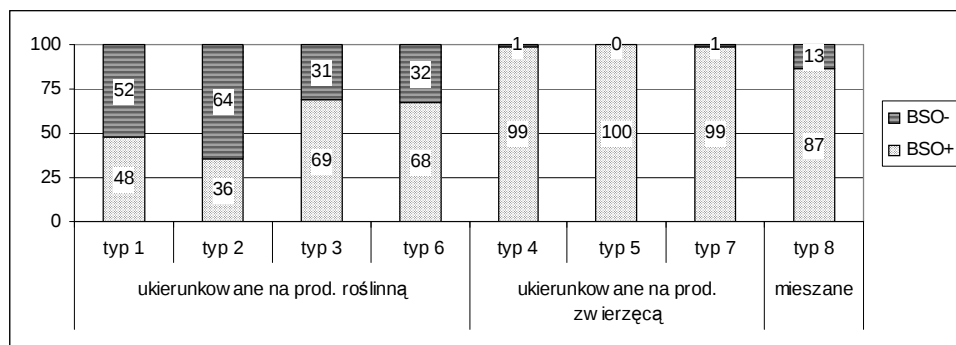
Rys. 9. Udział gospodarstw o dodatnim saldzie bilansu substancji organicznej w grupach gospodarstw według wielkości ekonomicznej

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN.

dukcją rolniczą a zwiększeniem jego dochodowości i efektywności ekonomicznej. Jednakże, jak wynika z przedstawionych danych, gospodarstwa silnie ekonomicznie również spełniają wymogi środowiskowe.

Jak podkreślano produkcja zwierzęca w zasadniczym stopniu determinuje możliwość zbilansowania substancji organicznej w glebie. Potwierdzenie tej tezy znalaziono również w rozkładzie gospodarstw z poprawnym saldem bilansu substancji organicznej w poszczególnych typach rolniczych (rys. 10). Gospodarstwa ukierunkowane na produkcję zwierzęcą, czyli o typach rolniczych, takich jak: specjalizujące się w chowie zwierząt żywionych w systemie wypasowym, specjalizujące się w chowie zwierząt żywionych paszami treściwymi oraz gospodarstwa niewyspecjalizowane, w których chowano różne gatunki zwierząt, saldo bilansu glebowej substancji organicznej przyjmowało pożądane wartości. W przypadku ukierunkowania na produkcję roślinną tylko 36-69% stanowiły gospodarstwa z poprawnym saldem bilansu substancji organicznej (odpowiednio specjalizujące się w uprawach ogrodniczych i specjalizujące się w uprawach trwałych). W gospodarstwach wyspecjalizowanych w uprawach polowych rzadziej niż co drugie gospodarstwo wyróżniło się poprawnym saldem bilansu substancji organicznej.

Poziom salda bilansu substancji organicznej wykazywał dodatni związek z obsadą zwierząt w badanych gospodarstwach. Częściej niż co drugie gospodarstwo rolne bez inwentarza żywego (a takich gospodarstw było 2 040, czyli 17% ogółu gospodarstw) nie bilansuje ubytku substancji organicznej, natomiast przy obsadzie zwierząt przekraczającej $1,5 \text{ SD} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR rekompensuje się je wyprodukowanymi nawozami naturalnymi (rys. 11). Przedstawione zależności wskazują również na znaczenie produkcji zwierzęcej w kształtowaniu żyzności gleby.



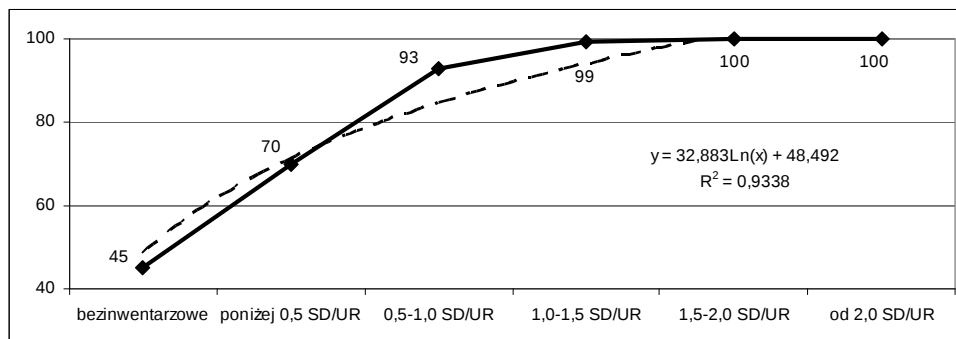
Rys. 10. Struktura gospodarstw według salda bilansu substancji organicznej w poszczególnych typach rolniczych

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN.

Z danych FADN wynika, że w 2007 r. zaledwie 488 rolników deklarowało zakup bądź zużycie z nieodpłatnych przekazów nawozów naturalnych, czyli w 4% gospodarstw towarowych nawozy naturalne pochodziły spoza własnego gospodarstwa rolnego. Z drugiej strony można szacować, że gospodarstwa z obsadą zwierząt powyżej $1,5-2 \text{ SD} \cdot \text{ha}^{-1}$ (ok. 2 000 gospodarstw), w których poziom produkcji nawozów naturalnych przekracza ich potrzeby nawozowe mogą sprzedawać nadwyżki tych nawozów.

Substytucja nawozów naturalnych lub uzupełnienie ich niedoboru nawozami pochodzenia roślinnego (słoma, poplony) jest wskazana, jednakże z pewnymi ograniczeniami. Należy jednak podkreślić, że zbyt częste przyorywanie słomy zbożowej może powodować także szereg zjawisk niekorzystnych, do których należy zaliczyć (10):

- powstawanie w glebie biologicznie czynnych substancji, które szczególnie wyraźnie hamują początkową fazę wzrostu roślin;
- zachwianie gospodarki azotowej w glebie, gdyż słoma zbożowa zawiera tylko około 0,5% azotu, a stosunek węgla do azotu kształtuje się w niej, jak 80-100 : 1.



Rys. 11. Udział gospodarstw o dodatnim saldzie bilansu substancji organicznej w grupach gospodarstw według obsady zwierząt na użytkach rolnych

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN.

Z tego względu mikroorganizmy powodujące jej rozkład w glebie muszą pobierać azot z innych źródeł, co może powodować gorsze zaopatrzenie roślin w ten składnik;

- przyorywanie słomy, szczególnie zbóż ozimych pod zboża ozime stwarza niebezpieczeństwo nasilonego występowania niektórych chorób, głównie naczyniowej pasiastości zbóż, której nie potrafimy chemicznie zwalczać.

W tabeli 5 zaprezentowano podstawowe wskaźniki produkcyjno-ekonomiczne badanych grup gospodarstw. Przeciętne gospodarstwo o dodatnim, jak i o ujemnym saldzie bilansu substancji organicznej cechowało się zbliżoną powierzchnią użytków rolnych, co umożliwiło porównanie ich wyników. Przeciętna wartość produkcji z gospodarstwa rolnego⁷ o dodatnim saldzie bilansu substancji organicznej kształtowała się na poziomie niższym (o 16%) w porównaniu z osiąganą w gospodarstwach z ujemnym wynikiem bilansowym. Wyodrębnione grupy gospodarstw różniły się strukturą produkcji. O ile w gospodarstwach z korzystnym wynikiem bilansowym zbliżony udział wartości cechował produkcję roślinną i zwierzęcą, tak w drugiej grupie dominująca była produkcja roślinna (93% w strukturze wartości produkcji). Otrzymane wyniki były rezultatem zróżnicowanej organizacji produkcji w badanych gospodarstwach.

Tabela 5

Wyniki produkcyjno-ekonomiczne gospodarstw indywidualnych
według salda bilansu glebowej substancji organicznej

Lp.	Wyszczególnienie	Ogółem	BSO+	BSO-
1.	Wartość produkcji ogółem (WPO); (zł)	191 004	184 939	220 913
2.	Wartość produkcji roślinnej (WPR); (zł)	106 146	85 944	205 764
3.	Wartość produkcji zwierzęcej (WPZ); (zł)	83 296	97 485	13 328
4.	Udział WPR/WPO (%)	55,6	46,5	93,1
5.	Udział WPZ/WPO (%)	43,6	52,7	6,0
6.	Saldo dopłat i podatków działalności operacyjnej (zł)	28 218	28 101	28 796
7.	Saldo dopłat i podatków działalności inwestycyjnej (zł)	-1 743	-1 654	-2 180
8.	Dochód z rodzinnego gospodarstwa rolnego (DRGR); (zł)	78 154	74 606	95 649
9.	Udział dopłat w dochodzie (%)	34	35	28
10.	Dochód na jednostkę pełnozatrudnioną pracy własnej (zł)	46 209	43 769	58 816

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN.

⁷ Wartość produkcji ogółem z gospodarstwa rolnego to suma wartości produkcji roślinnej, zwierzęcej i pozostałej, obejmuje ona sprzedaż, przekazania do gospodarstwa domowego, zużycie na potrzeby gospodarstwa rolnego, zmianę stanu zapasów, wzrost wartości zwierząt wywołany zmianą cen a pomniejszona jest o zakup zwierząt. To jedna z kategorii wynikowych obliczanych w systemie FADN.

Łączna wartość dopłat do działalności operacyjnej⁸ i inwestycyjnej⁹ w obu grupach gospodarstw kształtowała się na zbliżonym poziomie. Finalnie przeciętny dochód z gospodarstwa rolnego w zasadniczej mierze był kształtowany przez wartość produkcji i poziom kosztów, takich jak zużycie pośrednie¹⁰, amortyzację i koszty czynników zewnętrznych¹¹. Różnice w kategoriach produkcji oraz kosztach znalazły odbicie w poziomie dochodu z gospodarstwa; w przypadku gospodarstw z dodatnim saldem dochód był niższy o 22% w porównaniu z osiągniętym w drugiej grupie. Przeciętny dochód na jednostkę pełnozatrudnioną pracy własnej (ang. Family Work Unit – FWU)¹² w pierwszej grupie gospodarstw wyniósł prawie 44 000 zł · FWU⁻¹, natomiast w drugiej 59 000 zł · FWU⁻¹.

Podsumowanie i wnioski

W pracy oszacowano saldo bilansu glebowej substancji organicznej dla gospodarstw indywidualnych prowadzących rachunkowość rolną w ramach Polskiego FADN w 2007 r. W tym celu dostosowano metodologię ustalania bilansu substancji organicznej jaką posługuje się IUNG-PIB do zakresu dostępnych danych statystycznych.

Z badań własnych wynika, że liczebność gospodarstw o dodatnim saldzie bilansu substancji organicznej w glebie była stosunkowo duża, bo stanowiła ponad 80% populacji gospodarstw występujących w systemie FADN. Udział ten był zróżnicowany regionalnie i wahał się od 65% w województwie dolnośląskim do 95% w podlaskim. Przeciętne saldo bilansu glebowej substancji organicznej w Polsce w badanej zbiorowości gospodarstw miało wartość dodatnią – wyniosło 0,45 t · ha⁻¹. Oznacza to, że na poziomie kraju glebowa substancja organiczna była zrównoważona. Przeciętne salda w ujęciu wojewódzkim również kształtowały się na korzystnym poziomie (0,07-0,82 t · ha⁻¹).

⁸ Dopłaty do działalności operacyjnej uwzględniają: wszystkie dopłaty do produkcji roślinnej łącznie z płatnościami wyrównawczymi (płatnościami obszarowymi), dopłaty do zwierząt i do produktów pochodzenia zwierzęcego, pozostałe dopłaty do działalności operacyjnej gospodarstwa, m.in. do produkcji leśnej, agroturystyki, programów rolnośrodowiskowych, zalesiania i pomocy strukturalnej. Ujmowane są w tej pozycji także granty i dopłaty do szkód oraz wyjątkowe dopłaty (agromonetarne refundacje itp.), dopłaty do zużycia pośredniego, tj. wszelkie dopłaty do kosztów i nakładów poniesionych w ramach działalności operacyjnej gospodarstwa rolnego, dopłaty do wynagrodzeń, czynszów i odsetek oraz jednolita płatność obszarowa. Dopłaty do odsetek i płatności za zaprzestanie działalności rolniczej nie są ujmowane.

⁹ FADN kwalifikuje tu dopłaty na dostosowanie do standardów UE, dotacje do inwestycji, tj.: do zakupu ziemi rolniczej, do założenia upraw trwałych, do budowy/remontu kapitałowego: melioracji szczegółowych lub ogrodzeń, budynków, pojazdów, maszyn, urządzeń; dotacje w ramach programu zwiększania lesistości kraju.

¹⁰ Zużycie pośrednie obejmuje koszty bezpośrednie i ogólnogospodarcze.

¹¹ Koszty czynników zewnętrznych obejmują wynagrodzenia za poniesione nakłady (pracy, ziemi i kapitału), które nie są zasobami należącymi do posiadacza, do nich zaliczają się: wynagrodzenia za pracę, czynsze i odsetki.

¹² Nakłady pracy własnej (FWU) w ramach działalności operacyjnej gospodarstwa rolnego zostały wyrażone w jednostkach przeliczeniowych, gdzie 1 FWU to odpowiednik 1 osoby pełnozatrudnionej, pracującej 2 200 godzin rocznie.

Struktura zasiewów w gospodarstwach rolnych była ważnym elementem kształtującym saldo bilansu substancji organicznej. W gospodarstwach o dodatnim wyniku bilansowym uprawiano relatywnie mniej roślin o właściwościach przyczyniających się do zubożenia gleby w próchnicę, a więcej roślin strukturotwórczych. Ze względu na stosunkowo mały udział roślin strukturotwórczych w strukturze zasiewów w gospodarstwach rolnych, a jednocześnie duży udział roślin, których uprawa skutkuje zubożeniem gleby w próchnicę zasadniczym elementem równoważącym ubytki substancji organicznej było nawożenie naturalne i przyorywanie słomy.

Gospodarstwa z dodatnim saldem bilansu wyróżniły się korzystniejszą strukturą obszarową i ekonomiczną na tle drugiej grupy. W zależności od powierzchni użytków rolnych udział gospodarstw o korzystnym saldzie bilansu substancji organicznej kształtował się od 41% w grupie gospodarstw o powierzchni poniżej 1 ha do 88% w gospodarstwach o areale 15-30 ha. Największy problem ze zbilansowaniem glebowej substancji organicznej wystąpił w mikrogospodarstwach (o powierzchni do 1 ha), gospodarstwach małych (1-5 ha) oraz wielkoobszarowych (powyżej 100 ha). Podobne zależności stwierdzono w przypadku wartości standardowej nadwyżki bezpośredniej i salda bilansu substancji organicznej. Gospodarstwa o wielkości ekonomicznej 16-100 ESU najczęściej cechowały się dodatnim saldem (87%), a gospodarstwa bardzo małe, tj. do 4 ESU najrzadziej (76%). Liczby te wskazują na możliwość pogodzenia produkcji rolniczej przyjaznej dla środowiska przyrodniczego z relatywnie korzystniejszymi wynikami ekonomicznymi.

Typ rolniczy gospodarstw zasadniczo determinował możliwość zbilansowania substancji organicznej. W przypadku dodatniego salda bilansu 60% gospodarstw było ukierunkowanych na produkcję zwierzęcą, natomiast w gospodarstwach o ujemnym wyniku tylko 2%. Zatem w gospodarstwach ukierunkowanych na produkcję zwierzęcą saldo bilansu przyjmowało pożądane wartości. W grupie gospodarstw ukierunkowanych na produkcję roślinną korzystnym saldem cechowało się 36-69% gospodarstw. Obsada zwierząt wykazywała dodatni związek z wynikiem bilansu. Produkcja zwierzęca, a dokładniej nawożenie naturalne, miała bardzo duże znaczenie w kształtowaniu pożądanego salda bilansu substancji organicznej w glebie.

Wyniki produkcyjno-ekonomiczne kształtowały się na korzystniejszym poziomie w gospodarstwach o ujemnym saldzie bilansu substancji organicznej. W gospodarstwach tych o wartości produkcji ogółem decydowała głównie produkcja roślinna. Różnice w poziomie dochodów z gospodarstwa rolnego między badanymi grupami w zasadniczej mierze były pochodną zróżnicowania wartości produkcji rolniczej.

Saldo bilansu substancji organicznej w glebie to wskaźnik rolnośrodowiskowy informujący o oddziaływaniu produkcji rolniczej na środowisko przyrodnicze. Zastosowana metodologia pozwoliła na dokonanie porównań na poziomie kraju i regionu, jak również grup gospodarstw. Wyniki bilansu substancji organicznej były determinowane decyzjami organizacyjno-produkcyjnymi podjętymi przez rolników (w tym praktykami w zakresie nawożenia, kierunkiem prowadzonej działalności), ich świadomością ekologiczną, ale również stanem agrochemicznym gleb.

Na podstawie wyników badań można sformułować następujące wnioski:

1. Struktura obszarowa i ekonomiczna gospodarstw indywidualnych ma duże znaczenie w kształtowaniu dodatniego salda bilansu glebowej substancji organicznej. Zarówno w bardzo małych, jak również w bardzo dużych gospodarstwach rolnych pod względem powierzchni użytków rolnych i siły ekonomicznej relatywnie najrzadziej wynik bilansu substancji organicznej przyjmował wartości dodatnie.
2. Problem ze zbilansowaniem glebowej substancji organicznej jest najbardziej widoczny w gospodarstwach bezinwentarzowych, jak i charakteryzujących się małą obsadą zwierząt.
3. W aspekcie poprawnego bilansowania substancji organicznej szczególna rola przypisana jest gospodarstwom, w których prowadzona jest jednocześnie produkcja roślinna i zwierzęca. Oprócz intensywności organizacji również struktura produkcji, kierunek działalności i typ rolniczy gospodarstwa determinują możliwość zbilansowania glebowej substancji organicznej.
4. Szczególne znaczenie w bilansowaniu glebowej substancji organicznej mają nawozy naturalne i rośliny strukturotwórcze. W gospodarstwach z obsadą zwierząt powyżej $1,5 \text{ SD} \cdot \text{ha}^{-1}$ ubytki substancji organicznej będące skutkiem uprawy roślin zubożających glebę w próchnicę są w całości rekompensowane przez nawozy naturalne.
5. Spośród gospodarstw prowadzących rachunkowość rolną w 17% badanych jednostek poziom produkcji nawozów naturalnych przekracza ich potrzeby nawozowe. Gospodarstwa te są w stanie zbywać nadwyżki nawozów naturalnych na rynku (obróć międzysąsiedzki).

Literatura

1. Agastyńska-Grzymek I., Goraj L., Jarka S., Pokrzywa T., Skarżyńska A.: Metodyka liczenia nadwyżki bezpośredniej i zasady typologii gospodarstw rolniczych. FAPA Warszawa, 2000.
2. Bocian M., Malanowska B.: Wyniki standardowe uzyskane przez indywidualne gospodarstwa rolne uczestniczące w Polskim FADN w 2007 roku. Cz. I. Wyniki standardowe. IERiGŻ-PIB Warszawa, 2009.
3. Duer I., Fotyła M., Madej A. (red.): Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej. FAPA Warszawa, 2002.
4. Fotyła M., Kuś J.: Zrównoważony rozwój gospodarstwa rolnego. Pam. Puł., 2000, **120/1**: 109.
5. Goraj L.: FADN i Polski FADN. Sieć danych rachunkowych z gospodarstw rolnych i system zbierania danych rachunkowych z gospodarstw rolnych. IERiGŻ-PIB Warszawa, 2007.
6. Gosek S.: Substancje organiczne tak samo ważne jak składniki pokarmowe. Cz. I. Wiad. Rol. Pol., 2008, **09(49)**: 7.
7. Harasim A.: Przewodnik ekonomiczno-rolniczy w zarysie. IUNG-PIB Puławy, 2006.
8. Krasowicz S.: Cechy rolnictwa zrównoważonego. W: Koncepcja badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym. Praca pod red. J. S. Zegara. IERiGŻ-PIB Warszawa, 2005, **11**: 23-29.
9. Kuś J., Krasowicz S., Kopyński J.: Ocena możliwości zrównoważonego rozwoju gospodarstw bezinwentarzowych. W: Z badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym (5). Praca pod red. J. S. Zegara. IERiGŻ-PIB Warszawa, 2008, **87**.

10. Kuś J., Madej A., Kopieński J.: Bilans słomy w ujęciu regionalnym. Raporty PIB, IUNG-PIB Puławy, 2006, **3**: 211-226.
11. Pruszek P.: Poradnik PROW – przepisy ochrony środowiska, normatywy i wskaźniki funkcjonujące w produkcji rolniczej. CDR w Brwinowie, 2006, 49.

Adres do korespondencji:

mgr Wioletta Wrzaszcz
IERiGŻ-PIB
Zakład Ogólnej Ekonomiki
ul. Świętokrzyska 20
00-002 Warszawa
tel.: (22) 50-54-781
e-mail: wrzaszcz@ierigz.waw.pl

Edward Pierzgalski

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

ZASOBY WODNE A ROZWÓJ ROLNICTWA

Wstęp

Postępująca dramatycznie szybko w ostatnich kilkudziesięciu latach degradacja środowiska naturalnego zmusiła do opracowania w latach 80. zasad ekorozwoju stanowiących podstawę „Polityki ekologicznej państwa” przyjętej przez Sejm Rzeczypospolitej Polskiej w 1991 r. Reguły ekorozwoju były prekursorem stworzenia podstaw zrównoważonego i trwałego rozwoju zapisanego w Konstytucji z 1997 roku. W latach 1999–2000 opracowano i przyjęto „II Ekologiczną politykę państwa” mającą charakter strategii długoterminowej, w której wskazano strategiczne cele i kierunki działań. W związku z procesem akcesyjnym do Unii Europejskiej w 2003 roku opracowano dokument „Polityka ekologiczna państwa na lata 2003–2006 z uwzględnieniem perspektywy na lata 2007–2010” (aktualnie 2011–2014).

Polityka ekologiczna państwa ma na celu tworzenie warunków koniecznych do ochrony środowiska w warunkach rozwoju gospodarczego i spełniania oczekiwań społecznych. Strategia zrównoważonego rozwoju w szczególny sposób determinuje rozwój obszarów wiejskich, obejmujących obszary rolne, leśne oraz znajdujące się na nich powierzchnie osadnicze. Obszary te mają fundamentalne znaczenie dla rozwoju cywilizacyjnego państwa, pełniąc oprócz tradycyjnej funkcji produkcyjnej (m.in. żywność, produkty drzewne) także funkcje ekologiczne, krajobrazowe i społeczne (kulturowe, rekreacyjne).

Szczególnie ważnym czynnikiem zrównoważonego rozwoju są zasoby wodne. Woda i gospodarka wodna w obszarach nieurbanizowanych pełnią znacznie więcej funkcji niż w miastach i osiedlach (1, 9, 11). Od ilości i jakości zasobów wodnych zależy m.in.:

- zdrowie ludności (poprzez dostęp do czystej wody),
- bezpieczeństwo ludności (na obszarach zagrożonych powodzią),
- rozwój gospodarczy (w tym poziom produkcji roślinnej i zwierzęcej),
- stan środowiska przyrodniczego i jego rozwój,
- rozwój pozaprodukcyjnych funkcji obszarów wiejskich (rekreacja, agroturystryka).

Rolnictwo i zasoby wodne łączą współzależności ilościowe i jakościowe. Stan zasobów wodnych, ich jakość i dostępność, warunkuje rodzaj, poziom i jakość produkcji rolnej. Rolnictwo jest konsumentem dużej ilości wody, ale także źródłem zanieczysz-

czeń wód powierzchniowych i gruntowych. W programach rozwojowych zarówno gospodarki wodnej, jak i rolnictwa związki te muszą być uwzględniane. W strategiach, programach lub planach podstawowym elementem są przyjmowane w nich założenia prognostyczne uwzględniające zmiany polityczne, ekonomiczne, społeczne, klimatyczne, a także postęp techniczny, biotechnologiczny itp. Trafność założeń decyduje o realności wdrażania programów ujętych w opracowywanych dokumentach. Oparte na błędnych lub nieuwzględnionych przesłankach dokumenty rozwojowe bardzo szybko się dezaktualizują. Dowodzą tego analizy dokumentów długookresowych opracowanych nie tylko w latach 50. (16) czy 60. ubiegłego wieku, ale nawet sprzed 20 lat. Na przykład w 1987 roku planowano, że do 2010 roku powierzchnia nawadniana w Polsce wzrośnie do 1,7 mln ha, w tym na użytkach zielonych do 0,9 mln ha i do 0,8 mln ha na gruntach ornych (12). W 2007 roku łączną powierzchnię nawadnianą w Polsce szacowano na 81 tys. ha, w tym 75 tys. ha na użytkach zielonych i około 6 tys. na gruntach ornych (14). Porównanie tych danych wskazuje, jak nietrafne mogą być prognozy przy wysokim stopniu niepewności wielu czynników kształtujących rozwój rolnictwa. Dokonując analizy wzajemnych relacji między rolnictwem i zasobami wodnymi w celu zdefiniowania niezbędnych przedsięwzięć, należy mieć na uwadze wielofunkcyjny charakter obszarów wiejskich, ich zróżnicowanie środowiskowe, a także stopień niepewności zmian czynników wewnętrznych i zewnętrznych, między innymi klimatycznych, ekonomicznych, społecznych itd.

Bardziej przewidywalne od rozwoju rolnictwa wydają się być prognozy, strategie i plany dotyczące gospodarki wodnej. Kierunkowe zmiany zasobów wodnych, pomimo relatywnie wysokich krótkookresowych zmienności charakterystyk klimatycznych (opad, temperatura), przebiegają bowiem w długich przedziałach czasowych. Stosunkowo duże wydaje się np. prawdopodobieństwo prognoz dotyczących najbardziej aktualnego problemu, jakim jest wpływ zmian klimatu na zasoby wodne i skutki z tym związane. Ponadto dyrektywy unijne związane z wodą, czyli m.in. Ramowa Dyrektywa Wodna, tzw. Dyrektywa Powodziowa oraz sieć ekologiczna Natura 2000 zmuszają do realnego planowania przedsięwzięć, gdyż ich realizacje są monitorowane, a opóźnienia we wdrażaniu grożą poważnymi konsekwencjami, przede wszystkim karami finansowymi.

W pracy przedstawiono ogólną charakterystykę zasobów wodnych w Polsce, najważniejszych dokumentów i kierunkowych działań związanych z zasobami wodnymi w aspekcie rozwoju rolnictwa.

Charakterystyka stanu ilościowego zasobów wodnych

Powszechnie uznaje się, że zasoby wodne Polski są małe. Tezę tę udowadnia się, porównując warunki wodne w Polsce z występującymi w innych krajach, najczęściej w państwach europejskich. Najpowszechniej stosowanym porównawczym wskaźnikiem zasobów wód powierzchniowych jest ilość wody przypadająca na jednego mieszkańca w m³, obliczana jako stosunek średniego rocznego odpływu rzeczno-

mieszkańców danego kraju. Wskaźnik ten wynosi w Polsce około $1660 \text{ m}^3/\text{mieszkańca}/\text{rok}$. Jest to wielkość dużo niższa niż średnia europejska ($4560 \text{ m}^3/\text{mieszkańca}/\text{rok}$) plasująca Polskę na jednym z ostatnich miejsc w Europie. Jednakże wskaźnik ten nie uwzględnia szeregu czynników kształtujących warunki wodne, które decydują o poziomie produkcji rolniczej, stabilności ekosystemów, a także dostępności wody na potrzeby ludności i przemysłu. Dlatego jest on zastępowany innymi wskaźnikami, np. wskaźnikiem eksploatacji wód (WEI – ang. water exploitation index) określającym stosunek ilości pobieranej wody do całkowitych zasobów wód podziemnych i powierzchniowych. Wielkość tego wskaźnika dla Polski jest niewiele mniejsza od średniej dla krajów europejskich.

W zestawieniach statystycznych dotyczących zasobów wodnych wyróżnia się zasoby wód opadowych, wód powierzchniowych i wód podziemnych.

Średnią z wielolecia sumę opadów w Polsce szacuje się na około 600 mm. Oczywiście odnotowuje się opady skrajnie niskie (dwukrotnie mniejsze od średniej), jak i ekstremalnie wysokie (1,5-krotnie większe od średniej). Przykładem zmienności opadów mogą być opady odnotowane na stacji w Zwierzyńcu w regionie Puszczy Solińskiej. Przy średnim opadzie rocznym 650 mm w okresie 1974–1980 przeważały lata mokre, natomiast w kolejnych 11 latach opad był relatywnie niski. Począwszy od 1994 r. notuje się cykl lat mokrych, szczególnie w okresie 1999–2002, kiedy opad był znacznie większy od średniego z wielolecia i w czterech kolejnych latach tego okresu wynosił odpowiednio 764, 902, 735 i 771 mm. Oprócz zmienności czasowej opady w Polsce są zróżnicowane przestrzennie. Największe niedobory wody, z punktu widzenia potrzeb roślin, występują w centralnej części Polski. Jednakże susze pojawiają się także na północy kraju i nawet na obszarach górskich, pomimo występujących tam stosunkowo dużych opadów. Obserwowane aktualnie zamieranie drzewostanów w Beskidzie Śląskim ma także, oprócz innych przyczyn, związek z okresowymi brakami wody. Okresom z ujemnym bilansem klimatycznym, czyli suszom atmosferycznym (parowanie terenowe przewyższa opady), towarzyszy susza hydrologiczna, w czasie której przepływy w ciekach zmniejszają się, a nawet zanikają. Maleje wówczas także ilość wody w jeziorach i zbiornikach wodnych, a pojawia się najbardziej groźna dla rolnictwa susza glebowa, kiedy wysychają wierzchnie warstwy gleby i obniża się zwierciadło wody gruntowej. Brak możliwości poboru wody przez korzenie roślin jest jedną z głównych przyczyn klęski nieurodzaju w rolnictwie.

Drugim skrajnie negatywnym zjawiskiem są gwałtowne roztopy i ekstremalnie wysokie opady, które były główną przyczyną powodzi w Polsce w okresie 1941–2001. Oczywiście szkody wyrządzone przez powodzie w sektorze rolnictwa są duże z uwagi na przestrzenny charakter zjawisk powodziowych. Podczas katastrofalnej powodzi w 1997 roku zalanych zostało ponad 500 tys. ha gruntów ornych i użytków zielonych, a w 2001 roku około 400 tys. ha. Rekordowa pod tym względem była powódź w 1980 roku, kiedy zalanych zostało około 1,75 mln ha powierzchni upraw (15).

Odpływ wody z powierzchni kraju, podobnie jak opady, cechuje znaczna zmienność. Średni odpływ z obszaru Polski w latach 1951–2000 wynosił $54,8 \text{ mld m}^3$.

W tym okresie ekstremalne odpływy obejmowały: 89,9 km³ w roku 1981 i 37,6 km³ w 1954 r. Obok zmienności średnich rocznych przepływów niezmiennie istotna dla rolnictwa jest zmienność sezonowa. Wskaźnikiem tej zmienności jest stosunek średniego miesięcznego przepływu wiosennego do średniego rocznego. W rzekach północno-wschodniej części Polski wynosi on 1,8, a w rzekach nizinnych jest mniejszy i waha się od 1,3 do 1,8. W rzekach górskich wysokie przepływy występują zarówno w okresach wiosennych, jak i letnich. Należy zaznaczyć, że z powodu lokalnych uwarunkowań środowiskowych, użytkowania itp. charakterystyki hydrologiczne rzek różnią się także znacznie w zależności od powierzchni ich zlewni. Zasoby wód podziemnych odgrywają dużą rolę w bilansie wodnym zlewni. Szacuje się, że dopływ podziemny zasila przepływ wody w rzekach w 55%. W płytkich warstwach wodonośnych, z których potencjalnie mogą być zasilane systemy nawadniające znajduje się około 120 km³ wody.

Pobór wód powierzchniowych i podziemnych w Polsce w latach 1980–1990 był na zbliżonym poziomie. W 2008 roku ogólna wielkość poboru wody wynosiła 10,8 km³. W latach 1990–2000 zmniejszyła się o 22%, a od 2000 roku nie ulega większym zmianom. Proporcje między głównymi konsumentami pobieranej wody są następujące: najwięcej wody zużywa przemysł (ok. 70%), następnie zaopatrzenie komunalne siecią wodociagową (ok. 20%), a jedynie około 10% poboru wody zużywane jest w rolnictwie, leśnictwie i do napełniania stawów rybnych. W 2008 roku udział w poborze wymienionych konsumentów wynosił odpowiednio: 73,3, 15,4 i 11,3%. Według statystyk GUS (14) rolnictwo korzysta wyłącznie z zasobów wód powierzchniowych. Nie jest to ściśle, gdyż np. do mikronawodnień stosowanych w ogrodnictwie i sadownictwie na powierzchni około 4000 ha używa się przeważnie wód podziemnych. Całkowicie odmienne są proporcje zużycia wody w świecie, gdzie większość pobieranej wody (ok. 70%) zużywa rolnictwo.

Dostępność zasobów wodnych może być głównym czynnikiem warunkującym rozwój rolnictwa. Oczywiście, jeśli porównać np. wielkość poboru wody w 2008 roku dla rolnictwa, leśnictwa i stawów rybnych (1,15 km³) z ilością wody, która odpłynęła z obszaru kraju (46,6 km³), to można stwierdzić, że przy średnich warunkach pogodowych istnieją w Polsce ciągle duże rezerwy zasobów wodnych, nawet biorąc pod uwagę konieczność pozostawiania w ciekach wodnych przepływu nienaruszalnego. Stwierdzenie to dotyczy jednak warunków, w których temperatura i opady zbliżone są do średnich wieloletnich. Korzystanie z wód powierzchniowych w poszczególnych latach i w poszczególnych okresach w roku jest zależne od lokalnych i aktualnych uwarunkowań. Możliwość poboru wody ogranicza również zbieżność terminowa występowania największych potrzeb rolnictwa, niskich przepływów w ciekach wodnych i największej częstotliwości pojawiania się posuch lub susz.

Ograniczanie skutków okresowych braków wody osiąga się w różny sposób. Najbardziej skuteczne byłoby stosowanie nawodnień, korzystając z wód powierzchniowych (cieki i zbiorniki retencyjne), a także z wód podziemnych. Należy jednak podkreślić, że w okresach suszy hydrologicznej przepływy dyspozycyjne w ciekach wod-

nych są zwykle bardzo małe, a pojemność retencyjna sztucznych zbiorników wodnych w Polsce umożliwia zmagazynowanie jedynie 6,5% średniego rocznego odpływu i jest powszechnie uznawana za niewystarczającą. W innych krajach europejskich wskaźnik ten jest znacznie większy i wynosi od kilkunastu do kilkudziesięciu procent odpływu. Ocenia się, że istnieją w Polsce warunki do retencjonowania około 15% średniego rocznego odpływu.

Powierzchnia nawodnień w Polsce jest mała: w 2008 roku nawadniano jedynie 0,43% powierzchni użytków rolnych. Można więc stwierdzić, że efekty produkcji roślinnej, poza warunkami glebowymi, poziomem nawożenia itp. zależą w zasadzie od warunków klimatycznych, przede wszystkim od temperatury powietrza i opadów atmosferycznych, a w szczególności od ich wielkości i rozkładu w czasie, a także od precyzji regulacji stosunków wodnych w glebie w okresach zbyt wysokiego poziomu wody gruntowej lub jej zalegania na powierzchni terenu po roztopach, nawalnych deszczach i powodziach. To uzależnienie od czynników mających losowy charakter jest oczywiście poważnym utrudnieniem procesu produkcji roślinnej. Tym bardziej, że od około 20 lat coraz wyraźniejsze są oznaki zmniejszania się zasobów wodnych w postaci obniżania wód gruntowych, zanikania oczek wodnych, okresowego zanikania mniejszych cieków wodnych itp. Przyczynami tych zjawisk są zmiany klimatu (głównie wzrost temperatury), niesterowalne systemy odwadniające, zwiększony pobór wody w intensywniej produkcji roślinnej itp. Do pogarszania się warunków wodnych przyczyniają się także kopalnie odkrywkowe, ujęcia wód, infrastruktura komunikacyjna itp. Ponadto na pogorszenie dostępności wody może znacząco wpłynąć dalsze ocieplenie. Większość współczesnych opracowań dotyczących zmian klimatu wskazuje, że w Polsce w najbliższych dekadach prawdopodobny jest wzrost średniej rocznej temperatury powietrza o około 1°C, przy jednoczesnym nierównym rozkładzie jej wzrostu w ciągu roku. Prognozuje się zmniejszenie liczby dni w zimie z temperaturą poniżej zera stopni, co oznacza zmniejszenie ilości śniegu, a więcej deszczy. W okresach letnich przy wyższych temperaturach zwiększy się także częstotliwość występowania susz. Rozpoczęcie prac polowych na wiosnę może być przyspieszone o około 3 tygodnie. Sumy roczne opadów nie ulegną większym zmianom, będą jednak cechować się dużą zmiennością w czasie. Będą lepsze warunki dla upraw roślin ciepłolubnych (kukurydza, soja, słonecznik), ale nastąpi pogorszenie warunków dla upraw tradycyjnych (zboża ozime i ziemniak). Skutkiem zmian klimatu może być dłuższy okres wegetacji. Prognozuje się także częstsze występowanie ekstremalnych zjawisk pogodowych w postaci burz i wezbrań powodziowych w rzekach.

Zmiany celów i strategii gospodarowania wodą w rolnictwie

W okresie od końca II wojny światowej zmieniały się zadania stawiane przed gospodarką wodną, a także kierunkami badań i modelem kształcenia kadry inżynierskiej. W pierwszym okresie trwającym do końca lat 70. ubiegłego stulecia dominował priorytet gospodarczy. W okresie tym zlikwidowano największe zniszczenia wojenne infrastruktury wodnej. Opracowano perspektywiczny plan gospodarki wodnej (1959),

powstały koncepcje lokalizacji i realizacji większych zbiorników wodnych, systemy przeciwpowodziowe, a także zrealizowano na dużą skalę inwestycje w zakresie regulacji rzek i melioracji wodnych mających na celu zaspokojenie deficytu żywności. Oprócz pozytywnych efektów gospodarczych po pewnym okresie coraz bardziej widoczne były negatywne skutki tych przedsięwzięć. Zaliczyć do nich można:

- przyspieszenie obiegu wody i związków chemicznych,
- zmniejszenie retencyjności zlewni i zmniejszenie zasobów wodnych,
- degradacja gleb organicznych,
- zanieczyszczenie wód powierzchniowych i podziemnych,
- zniszczenia składników biotycznych środowiska przyrodniczego.

Po tym okresie do końca lat 90. trwała recesja inwestycyjna. Osiągnięto wówczas dalszy wzrost produkcji żywności, jednak głównie wskutek rozwoju agrotechniki, osiągnięć nauk rolniczych i biotechnologii. Rozwinęła się samochodowa alternatywa dla transportu wodnego, nasiliła się presja ochrony przyrody i nastąpił ogólny wzrost poziomu życia. W okresie tym prowadzono badania i studia obejmujące koncepcje kompleksowych projektów gospodarki wodnej i melioracji, ocenę zmian hydrologicznych w wyniku zagospodarowania zlewni i poszukiwano rozwiązań przyjaznych środowisku. Do ważnych osiągnięć w tym okresie należy zaliczyć: doskonalenie wodooszczędnych mikronawodnień, stworzenie zasad racjonalnego zagospodarowania dolin i przyjaznych środowisku regulacji rzek, opracowanie sposobów i narzędzi spowalniania obiegu wody w zlewni oraz podstaw metodycznej oceny oddziaływania inwestycji wodnych na środowisko przyrodnicze.

Od początku lat 90. ograniczono zakres nowych inwestycji w gospodarce wodnej, a zwłaszcza przedsięwzięć o charakterze przekształceniowym, prawie całkowicie zahamowano inwestycje melioracji rolnych, preferowano modernizację obiektów istniejących. Wskutek zwiększania powierzchni obszarów chronionych nastąpiła silna presja na rozwiązania przyjazne środowisku, a także na rozwiązania zgodne z zasadami zintegrowanej gospodarki wodnej. Zmniejszenie w tym okresie zakresu dużych inwestycji wodnych nastąpiło także w wielu krajach, a jako przyczyny można wskazać:

- zmniejszenie zapotrzebowania na wodę i energię w związku z restrukturyzacją i nowymi technologiami przemysłowymi,
- opór społeczeństwa przeciwko budowie obiektów hydrotechnicznych ze względu na nieuniknione szkody w środowisku,
- wysokie koszty realizacji inwestycji (często są wyższe od planowanych) przy niższych spodziewanych efektach.

Nastąpiła wówczas reorientacja na obiekty mniejsze, na naprawy i remonty, likwidacje i ograniczenia szkód środowiskowych. Zaczęto wdrażać zasadę zintegrowanego zarządzania zasobami wodnymi uwzględniającego w jednakowym stopniu ochronę środowiska przyrodniczego i zaspokajanie potrzeb użytkowników. Jednocześnie zwiększono zakres ochrony dolin rzecznych przed ich zajmowaniem lub przekształcaniem powodującym zmniejszenie obszarów zalewowych, a także ograniczono budowę no-

wych obwałowań zmniejszających obszary zalewowe. Rozszerzono front działań inwestycyjnych w gospodarce wodnej dla potrzeb ochrony przyrody i ochrony środowiska, w tym przedsięwzięcia renaturyzacyjne i rewitalizacyjne (7, 10, 18). Sytuacja w gospodarowaniu wodami zmieniła się zasadniczo po wejściu do Unii Europejskiej, gdyż zaczęły nas obowiązywać dyrektywy UE związane z gospodarką wodną (2, 6).

Ramowa Dyrektywa Wodna Unii Europejskiej

Najważniejszą z dotychczas uchwalonych dyrektyw UE dotyczących zasobów wodnych jest Ramowa Dyrektywa Wodna (RDW) przyjęta w 2000 roku. RDW jest dokumentem precyzującym cele, metody i harmonogram realizacji poszczególnych zadań dotyczących kształtowania i ochrony zasobów wodnych oraz gospodarowania wodą. Pierwszy etap wdrażania RDW ma zakończyć się w 2015 roku. Głównym celem RDW jest osiągnięcie dobrego stanu wód powierzchniowych i podziemnych. W szczególności zgodnie z RDW konieczne jest:

- stworzenie ram legislacyjnych i innych dla potrzeb ochrony wód;
- zarządzanie wodą w skali zlewni i dorzeczy;
- uzyskanie „dobrego stanu” wszystkich wód, czyli dobrego stanu chemicznego i ekologicznego wód powierzchniowych oraz dobrego stanu chemicznego i ilościowego wód podziemnych, m.in., poprzez ustalenie w sposób kompleksowy standardów jakościowych i ograniczenie emisji zanieczyszczeń w ściśle określonych ramach czasowych;
- ustalenie właściwej ceny wody;
- nawiązanie współpracy mieszkańców z odpowiednimi instytucjami w zakresie gospodarowania wodą.

RDW uwzględnia także konieczność spełnienia wymagań zawartych w innych dokumentach UE i prawie polskim dotyczących jakości wód na obszarach chronionych (w tym wrażliwych na eutrofizację wywołaną zanieczyszczeniami komunalnymi, narażonych na zanieczyszczenia związkami azotu ze źródeł rolniczych, przeznaczonych do celów rekreacyjnych, do poboru wody pitnej dla ludności, do ochrony gatunków zwierząt wodnych o znaczeniu gospodarczym, do ochrony siedlisk i gatunków, dla których utrzymanie dobrego stanu wód jest warunkiem ich ochrony).

W Ramowej Dyrektywie Wodnej rolę wody określono następująco: „woda nie jest produktem handlowym, takim jak każdy inny, ale raczej dziedzicznym dobrem, które musi być chronione i traktowane jako takie”. Zgodnie z tą definicją woda nie służy jedynie zaspokajaniu potrzeb gospodarczych i komunalnych, ale warunkuje trwałość środowiska naturalnego. Zasoby wodne powinny być więc kształtowane i eksploatowane w sposób zrównoważony, zapewniający obecnie i w dłuższej perspektywie czasowej ich dobrą jakość i wymagany stan ilościowy.

W RDW zaleca się zarządzanie gospodarką wodną w skali zlewni. Postulat ten spełnia polskie „Prawo wodne” uchwalone w 2001 roku. Dopiero jednak w 2006 roku powołano Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, który ma koordynować gospodarkę

wodną w jednostkach hydrograficznych. Ostateczny kształt systemu organizacyjnego nie jest jeszcze ostatecznie ustalony.

Duży akcent położony został w RDW na ekonomiczne aspekty gospodarowania wodą. Wprowadzenie zasady, że woda ma cenę ma na celu oszczędne zużycie wody. RDW wskazuje na potrzebę przejścia z sektorowego zagospodarowania i zarządzania w zlewniach rzecznych na zintegrowane, połączone z dużym udziałem miejscowej ludności w podejmowaniu decyzji m.in. w zakresie gospodarowania wodą. Szczególnego znaczenia ma zintegrowanie gospodarki wodnej w zlewniach lub dorzeczach zawierających obszary górskie i nizinne. Dyrektywa zobowiązuje do przeprowadzenia do 2015 roku trzykrotnych, trwających 6 miesięcy konsultacji społecznych. Wdrażanie Ramowej Dyrektywy Wodnej odbywa się w następujących etapach:

- 2003: Transpozycja postanowień dyrektywy do prawa krajowego; wyznaczenie obszarów dorzeczy.
- 2004: Wstępna charakterystyka obszarów dorzeczy; utworzenie rejestru obszarów chronionych.
- 2006: Opracowanie programów monitoringu wód i obszarów chronionych; opracowanie i podanie do wiadomości publicznej (konsultacje społeczne) harmonogramu prac związanych z opracowaniem planów gospodarowania wodami dla obszaru dorzeczy.
- 2007: Podanie do publicznej wiadomości (konsultacje społeczne) przeglądu istotnych problemów gospodarki wodnej dla obszaru dorzeczy.
- 2008: Opracowanie i podanie do publicznej wiadomości (konsultacje społeczne) projektów planu gospodarowania wodami i projektu programu wodno-środowiskowego kraju.
- 2009: Opublikowanie planów gospodarowania wodami dla obszaru dorzeczy.
- 2010: Wdrożenie zasady zwrotu kosztów usług wodnych; przekazanie Komisji Europejskiej raportu dotyczącego planów gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy.
- 2012: Uruchomienie działań ujętych w programie wodno-środowiskowym kraju.
- 2012: Przekazanie Komisji Europejskiej sprawozdania tymczasowego przedstawiającego postęp we wdrażaniu planowanego programu działań (po trzech latach od czasu opublikowania każdego planu).
- 2015: Aktualizacja planów gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy oraz programu wodno-środowiskowego kraju; osiągnięcie dobrego stanu wód.

Program wodno-środowiskowy kraju

Z przedstawionego harmonogramu wynika, że program wodno-środowiskowy kraju obok planu gospodarowania wodami w dorzeczu, będącego podstawą zarządzania w gospodarce wodnej, jest drugim głównym dokumentem w procesie wdrażania RDW. Program zawiera działania naprawcze zidentyfikowanych problemów w poszczególnych regionach wodnych (częściach wód), dotyczących głównie stanu i możliwości poprawy jakości wód. Działania te określono dla 7 następujących kategorii (3):

- gospodarka komunalna,
- rolnictwo i leśnictwo,
- zagospodarowanie przestrzenne,
- kształtowanie stosunków wodnych oraz ochrona ekosystemów od wód zależnych,
- działania organizacyjno-prawne i edukacyjne,
- przemysł,
- dodatkowe działania dla poprawy stanu i jakości wód podziemnych.

W opracowanym w 2008 roku „Programie wodno-środowiskowym kraju” dla 10 dorzeczy wód, w których podstawowymi są Wisła i Odra, a ponadto dorzecza Pregoly, Niemna, Jarit, Świeżej, Ucker, Dunaju, Łaby i Dniestru, do głównych działań ochrony wód, a mających związek z rolnictwem, włączono:

- identyfikację gospodarstw rolnych, sporządzenie i prowadzenie rejestru oraz działania informacyjne;
- identyfikację i aktualizację istotnych źródeł emisji związków azotu;
- budowę urządzeń do przechowywania nawozów naturalnych;
- kontrolę rolniczych źródeł zanieczyszczenia;
- poprawę praktyk rolniczych;
- edukację rolników i doradztwo specjalistyczne;
- monitoring skuteczności programu.

Jako szczegółowe sposoby zmniejszenia zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego w „Programie wodno-środowiskowym kraju” wymieniono:

- ochroną upraw gleb ograniczającą spływ powierzchniowy i erozję gleby;
- bariery biogeochemiczne wzdłuż cieków i zbiorników wodnych o minimalnych szerokościach od 2 m (grunty użytkowane mniej intensywnie) do 5 m (grunty orne);
- międzyplony i wsiewki poplonowe;
- przechowywanie w odpowiednich warunkach substancji stanowiących potencjalne źródło zanieczyszczeń środowiska: gnojówki, gnojowicy, nawozów mineralnych i środków ochrony roślin.

W programie wymieniono także działania wspierające osiągnięcie celów RDW: wdrażanie krajowego programu zwiększania lesistości, wspieranie rolnictwa ekologicznego oraz wspieranie rolnictwa zrównoważonego.

Do działań w zakresie kształtowania stosunków wodnych oraz ochrony ekosystemów zależnych od wody zaliczono:

- budowę przepławek oraz przywrócenie drożności odcinków cieków;
- opracowanie i wdrożenie planu ochrony obszaru prawnie chronionego (parki, rezerwaty, obszary włączone do sieci Natura 2000);
- weryfikację zapisów instrukcji zarządzania wodą na zbiornikach piętrzących, bieżącą ochronę walorów przyrodniczych zespołów przyrodniczo-krajobrazowych, użytków ekologicznych, pomników przyrody, stanowisk dokumentacyjnych.

W zestawie działań nie ma odniesienia do urządzeń kształtujących stosunki wodne dla celów produkcji roślinnej. Ponadto niektóre z wymienionych działań mogą powodować negatywne skutki dla warunków wodnych rolnictwa. Przykładem tego jest udrażnianie cieków wodnych, co w konsekwencji może oznaczać likwidację podpiętrzeń dostarczających wodę do doprowadzalników lub utrzymujących odpowiedni poziom wód gruntowych.

Przewiduje się, że wybór poszczególnych działań naprawczych będzie dokonywany na podstawie analizy efektywności kosztowej, która ma wskazać rozwiązania najlepsze pod względem efektów środowiskowych.

Cele i działania zapisane w „Programie wodno-środowiskowym kraju” są ściśle związane z celami określonymi w innych krajowych i wojewódzkich dokumentach. Do najważniejszych z nich należą:

- Polityka ekologiczna państwa (z uwzględnieniem perspektywy na lata 2011–2014),
- Ustawa „Prawo wodne”,
- Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym,
- Ustawa o ochronie przyrody,
- Strategia ochrony obszarów wodno-błotnych,
- Krajowy program zwiększania lesistości,
- Krajowy program oczyszczania ścieków komunalnych,
- Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko (2007–2013).

Niewątpliwie ogromnym wyzwaniem w najbliższym okresie będzie konsekwentne wdrażanie i koordynowanie działań i przedsięwzięć zaplanowanych w wielu ustawach, strategiach, programach i planach dla wszystkich rozpatrywanych kategorii, a w szczególności dla gospodarki wodnej i rolnictwa.

Najpilniejsze zadania gospodarki wodnej w rolnictwie

Regulacja stosunków wodnych

Regulacja jest pojęciem stosowanym m.in. w dziedzinie automatyki i oznacza celowe oddziaływanie na określony proces. Podstawą regulacji jest znajomość przebiegu danego procesu i jego porównanie z przebiegiem pożądanym. Sterowanie procesem odbywa się w taki sposób, aby odchylenia rzeczywistego przebiegu procesu od pożądanego były w granicach dopuszczalnych, pomimo występowania czynników zakłócających. Ogólna struktura układu regulującego składa się z obiektu regulacji (procesu regulowanego) oraz urządzenia regulacyjnego (regulatora). Sterowanie procesem prowadzi się na podstawie sygnałów wejściowych i wyjściowych w obu elementach układu regulacyjnego. Sygnały wejściowe w systemach wodno-gospodarczych mają najczęściej charakter stochastyczny.

Przykładem układu regulacyjnego może być system odpływu regulowanego, w którym obiektem regulacji jest płynąca woda w rowie, a urządzeniem regulacyjnym zastawka na rowie hamująca odpływ wody. Innym przykładem układu regulacyjnego

jest uwilgotnienie wierzchniej warstwy gleby, a urządzeniem regulacyjnym deszczownia. W teorii regulacji wyróżnia się regulację ręczną i automatyczną (samoczynną). Wspomniany wyżej system odpływu regulowanego jest, głównie ze względu na rozległość obszarową, sterowany ręcznie (zastawki są otwierane i zamykane przez operatora). Postęp techniczny wskazuje jednak, że w przyszłości także w tych systemach będzie możliwe stosowanie regulacji automatycznej. Przykładem samoczynnej regulacji uwilgotnienia gleby są np. stosowane w starożytności porowate gliniane dzbanki, z których woda była wsysana przez glebę z intensywnością zależną od jej wilgotności. Obecnie zjawisko to jest wykorzystywane np. w tensjometrach ceramicznych używanych do sterowania systemami nawodnień ciśnieniowych.

Pojęcie stosunki wodne w glebie oznacza, w najprostszym ilościowym ujęciu, proporcje między macierzą glebową, wodą i powietrzem. Znajomość tych proporcji umożliwia ocenę aktualnych warunków rozwoju roślin zarówno w aspekcie dostatecznej ilości tlenu w glebie w okresach wilgotnych, jak i możliwości poboru wody przez korzenie roślin w okresach posusznych.

Stosunki wodne w glebie stanowiące wynik krążenia wody w przyrodzie są sprzężone (oprócz warunków powietrznych) także z warunkami cieplnymi i chemicznymi. W odniesieniu do obszaru i z uwzględnieniem wzajemnych sprzężeń związanych z przepływem pod wpływem energii słonecznej, wody i substancji mineralnych, bardziej ogólną definicję stosunków wodnych podał S o m o r o w s k i (17): „Stosunki wodne określane są jako całokształt zjawisk związanych z uwodnieniem terenu, którego zasoby wodne kształtowane są przez wilgoć atmosferyczną i glebowo-gruntową oraz wody powierzchniowe i podziemne w aspekcie ilościowym i jakościowym.”

Regulacja stosunków wodnych oznacza ingerencję w naturalny obieg wody w zlewni rzecznej w celu spowolnienia, przyspieszenia lub zatrzymania odpływu wody. Świadome oddziaływanie na obieg wody w Polsce jest w wielu sytuacjach konieczne, gdyż specyficzne cechy naszego klimatu, a także konieczność sprostania międzynarodowej konkurencji na rynkach produktów rolniczych wymusza regulację stosunków wodnych w glebach za pomocą urządzeń melioracyjnych. Do powszechnie stosowanych urządzeń regulacji stosunków wodnych należą:

- odwodnienia za pomocą rowów i drenów,
- regulowany odpływ (systemy odwadniająco-nawadniające składające się z sieci rowów z zastawkami),
- systemy nawadniające.

Ze względu na zmienność zjawisk meteorologicznych zarówno w krótkich, jak i dłuższych przedziałach czasowych urządzenia melioracyjne powinny posiadać zdolność dwustronnego regulowania stosunków wodnych. Wieloletnie doświadczenie wskazuje, że grawitacyjne systemy odwadniające spełniają swą pozytywną rolę w zawodnionych siedliskach jedynie w początkowym okresie funkcjonowania. Przy trendzie zmniejszania się zasobów wodnych brak możliwości sterowania odpływem w rowach i drenach kształtuje negatywną opinię o skutkach ich funkcjonowania, czyli o ich wpływie na pogłębianie deficytu wody w okresach posusznych. Dlatego też

zasadą powinno być stosowanie takich urządzeń melioracyjnych, które umożliwiają sterowanie odpływem wody odpowiednio do warunków pogodowych. Modernizacja systemów odwadniających na systemy regulowanego odpływu wydaje się być najpilniejszym zadaniem gospodarki wodnej w rolnictwie w najbliższych latach (4, 5, 8, 13). Biorąc tylko pod uwagę powierzchnię ponad 4 mln gruntów ornych, na których wykonano drenowanie jest to zadanie ogromne, lecz konieczne. W przypadkach, gdy dwustronne funkcjonowanie jest utrudnione, modernizacja systemów odwadniających powinna dotyczyć retencjonowania wód odprowadzanych w okresach ich nadmiaru. Uzasadnione jest, aby przedsięwzięcia te objęte były programem małej retencji.

Trudna do przewidzenia jest perspektywa rozwoju nawodnień w Polsce. Dotychczasowe prognozy w tym zakresie okazywały się nietrafione. Jednakże postępujące ocieplanie klimatu oraz rosnące potrzeby wzrostu produkcji żywności i poprawy jej jakości wymusi konieczność zwiększenia intensyfikacji produkcji rolniczej, a bez zapewnienia prawidłowej gospodarki wodnej, w tym nawodnień, nie będzie to możliwe.

Retencjonowanie wody

Coraz większego znaczenia dla rolnictwa, leśnictwa i środowiska nabiera magazynowanie wody w okresach, gdy stan zasobów wodnych przewyższa aktualne zapotrzebowanie na wodę. Retencjonowanie wody w każdej formie i postaci wpływa na kształtowanie odpływu ze zlewni, stwarza także szansę poprawy reżimu odpływu zmienionego w wyniku antropopresji. Małe obiekty retencyjne, jeśli występują dostatecznie licznie, mogą zmniejszyć także zagrożenie powodziowe. Zaliczają się do nich sztuczne zbiorniki wodne, podpiętrzenia naturalnych zbiorników wodnych, a także urządzenia piętrzące w ciekach służące spowolnieniu odpływu ze zlewni wód opadowych, roztopowych lub gruntowych (jazy, zastawki, progi, bystrotoki). Realizacja wojewódzkich programów małej retencji napotyka na poważne opóźnienia, głównie z powodu braku odpowiednich środków finansowych.

Utrzymanie urządzeń melioracyjnych w dobrym stanie

Urządzenia techniczne jakimi są rowy, elementy systemów drenarskich, elementy systemów nawadniających, budowle wodno-melioracyjne i urządzenia małej retencji, wymagają systematycznej konserwacji. Skutkiem zaniechania prac konserwacyjnych urządzenia te ulegają zniszczeniu, aż do stanu, kiedy przestają pełnić przypisane im funkcje. Występują wówczas objawy wtórnego zabagnienia lub przesuszania terenu. Służby melioracyjne od wielu lat alarmują, że środki na cele utrzymania urządzeń podstawowych i niektóre szczegółowe sięgają 20% potrzeb.

Monitoring

Brak informacji o funkcjonowaniu urządzeń na obiektach melioracyjnych jest przyczyną zaniedbań eksploatacyjnych, w tym konserwacyjnych. Brak takich informacji uniemożliwia także prawidłową modernizację systemu melioracyjnego. Jest również przyczyną powstawania negatywnych opinii o melioracjach, najczęściej bez uzasad-

nienia. Lokalizacja i liczba punktów obserwacyjnych zależy od wielu czynników, lecz głównym kryterium ich doboru jest zmienność przestrzenna warunków siedliskowych. Najprostszą miarą oceny kierunkowych zmian warunków wodnych jest odchylenie mierzonego parametru (np. głębokość położenia wody gruntowej) od wartości średnich z miarodajnego okresu obserwacyjnego. Jako minimalny miarodajny okres obserwacyjny dla oceny zmian warunków wodnych przyjmuje się okres 8-10 lat.

Wnioski

1. Do najważniejszych obecnie wyzwań dla gospodarki wodnej należy zaliczyć wdrożenie Ramowej Dyrektywy Wodnej, której celem jest osiągnięcie dobrego stanu wód w 2015 roku. Szereg działań zaplanowanych w „Programie wodno-środowiskowym kraju” dotyczy ograniczania zanieczyszczeń powstających w produkcji rolniczej i zwierzęcej.

2. Zmiany warunków klimatycznych objawiające się w ostatnich kilkunastu latach wzrostem temperatury powietrza, zwłaszcza w okresach zimowych, zwiększoną częstotliwością występowania ekstremalnych warunków pogodowych (susze, powodzie) oraz istniejące na gruntach rolnych w przeważającej większości jednokierunkowe – odwadniające systemy melioracyjne – sprawiają, że niedobory wody uznaje się obecnie za poważne zagrożenie dla produkcji roślinnej.

3. Funkcjonowanie systemów melioracyjnych powinno być dostosowane do aktualnych warunków pogodowych i wymagań środowiskowych. Dla ochrony zasobów wodnych każdy system melioracyjny pełniący obecnie funkcję odwadniającą powinien być uzupełniony o urządzenia piętrzące, umożliwiające zahamowanie lub spowalnianie odpływu wody w celu złagodzenia skutków niedoboru wody w okresach posusznych. Preferowane powinny być urządzenia piętrzące okresowo. Podpiętrzenia stałe powinny być stosowane w siedliskach, w których wystąpiło znaczne obniżenie poziomu wody gruntowej lub, gdzie ze względu na potrzebę zwolnienia procesu murszenia gleb organicznych wymagane jest stałe utrzymanie wody gruntowej na głębokości 20-30 cm poniżej powierzchni terenu.

4. Odpływy drenarskie powinny być retencjonowane na potrzeby rolnictwa w okresach niedoborów wody.

5. Zasoby wodne cechuje zmienność występowania zarówno w czasie, jak i w przestrzeni. Miarodajna ocena tendencji zmian warunków wodnych na obiektach melioracyjnych, stanowiąca podstawę do podejmowania środków zaradczych, wymaga obserwacji w dłuższym okresie czasu. Na obiektach melioracyjnych powinien być prowadzony systematyczny monitoring zmian warunków wodnych.

Literatura

1. Borecki T., Pierzgalski E., Żelazo J.: Woda jako strategiczny czynnik rozwoju obszarów nieurbanizowanych. *Gosp. Wod.*, 2004, **6**: 221-227.
2. Brandyk T., Mosiej J.: Wybrane problemy ochrony środowiska w aspekcie integracji z Unią Europejską. *Wiad. Melior. Łąk.*, 2002, **4**: 170-173.
3. Hobot A. (red.): Program wodno-środowiskowy kraju. KZGW Warszawa, 2008, ss. 98.
4. Jurczuk S., Lipiński J., Bem-Bajena B., Lempińska A., Pawlik-Dobrowolski J.: Nawodnienia podsiąkowe jako podstawa zwiększenia retencji wodnej małych dolin rzecznych. IMUZ Falenty, 2004, ss. 63.
5. Kaca E., Łabędzki L., Chrzanowski S., Czaplak I., Kasperska-Wołowicz W.: Gospodarowanie zasobami wody użytecznej gleb torfowo-murszowych w warunkach regulowanego odpływu w różnych regionach agroklimatycznych Polski. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie*. IMUZ, Rozpr. Monogr., 2003, **9**.
6. Kowalik P.: Dyrektywa wodna Unii Europejskiej a rolnictwo. *Wiad. Melior. Łąk.*, 2003, **1**: 3-7.
7. Lubieniecki B.: Przepławki i drożność rzek. IRS, wyd. II, 2003, ss. 83.
8. Łabędzki A., Łojek W.: Sterowanie nawodnieniami podsiąkowymi użytków zielonych w dolinie Noteci Górnej. *Wiad. Melior. Łąk.*, 2000, **1**: 16-19.
9. Mioduszecki W.: Kształtowanie zasobów wodnych w obszarach rolniczych. *Wiad. Melior. Łąk.*, 2002, **1**: 39-41.
10. Mitsch W. J., Jørgensen S. E.: Ecological engineering and ecosystem restoration. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2004.
11. Mosiej J., Somorowski C.: Aktualne problemy gospodarowania wodą w rolnictwie dla zrównoważonego i wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich. *Wiad. Melior. Łąk.*, 2001, **1**: 2-7.
12. Narodowy Program Ochrony Środowiska Gospodarki Wodnej do 2010 roku. Program potrzeb (wariant II). Nawodnienia użytków rolnych, zasilania stawów rybnych i retencjonowania dla potrzeb rolnictwa. Bipromel, CBSIPWM. Warszawa, 1987.
13. Nyc K., Podkładać R.: Ekologiczne skutki stosowania regulowanego odpływu w dolinach rzecznych. *Wiad. Melior. Łąk.*, 2001, **4**: 155-157.
14. Ochrona środowiska. GUS Warszawa, 2009.
15. Pierzgalski E., Żelazo J.: Uwarunkowania i kierunki ochrony przed powodzią. *Wiad. Melior. Łąk.*, 2008, **1**: 15-20.
16. Praca zbiorowa pod red. E. Czetwertyńskiego: Zarys planu perspektywicznego gospodarki wodnej w Polsce. PWN, t. I, 1959, ss. 439.
17. Somorowski C.: Wodno-bilansowe kryteria kształtowania siedlisk w krajobrazie rolniczym. SGGW Warszawa, 1998, 10-24.
18. Żelazo J.: Renaturyzacja rzek i dolin. *Infrastr. Ekol. Teren. Wiejsk.*, 2006, **4(1)**: 11-31.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Edward Pierzgalski
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Kształtowania Środowiska
ul. Nowoursynowska 159
02-776 Warszawa
tel.: (22) 593-53-76
e-mail: E.Pierzgalski@sggw.pl

Mariusz Kucharski

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli we Wrocławiu*

CHEMICZNA OCHRONA ROŚLIN PRZED CHWASTAMI – WPŁYW NA ŚRODOWISKO*

Wstęp

Roślina uprawna pozbawiona ochrony ze strony człowieka ustępuje miejsca chwastom, poddaje się presji chorób i szkodników. Dlatego stosowanie chemicznej ochrony stało się niezbędnym i trwałym elementem w uprawie roślin rolniczych. Prawidłowo stosowane środki ochrony roślin (ś.o.r.) umożliwiają osiągnięcie wysokich i jakościowo dobrych plonów bez uszczerbku dla chronionej rośliny. Szeroki asortyment ś.o.r. pozwala na elastyczność w doborze metody i terminu zabiegu, a właściwa substancja aktywna zapewnia wyeliminowanie lub ograniczenie agrofaga w takim stopniu, aby nie stanowił zagrożenia dla rośliny uprawnej (13).

Herbicydy, podobnie jak i inne środki ochrony roślin, pod działaniem czynników środowiska ulegają różnym procesom biologicznym i fizykochemicznym, w wyniku których następuje zanikanie substancji aktywnych związane z częściowym rozkładem związku. Poza rozkładem chemicznym i mikrobiologicznym udział w procesie zanikania substancji aktywnej w glebie ma sorpcja, przemieszczanie w głębsze warstwy gleby (poniżej strefy korzeniowej, a nawet do wód gruntowych) oraz pobieranie przez roślinę (3, 9, 21, 23).

Równolegle z rozwojem nowoczesnych metod ochrony roślin konieczne jest prowadzenie badań nad wpływem agrochemikaliów na środowisko. Prace te z jednej strony mają za zadanie podnoszenie efektywności stosowania substancji chemicznych, z drugiej zaś stanowią element ochrony środowiska i jakościowej kontroli produktów rolnych. Związane jest to z koniecznością identyfikacji bezpośrednich i pośrednich zagrożeń, jakie dla człowieka i środowiska stwarzać mogą środki ochrony roślin po ich zastosowaniu w praktyce rolniczej.

Oprócz prac związanych z rejestracją nowych środków ochrony roślin wykonywane są badania mające na celu określenie wpływu, jaki stosowane agrochemikalia (w zależności od warunków pogodowych, glebowych i sposobu aplikacji) wywierają na środowisko wodne, glebowe i roślinne (stężenie pozostałości, dynamika rozkładu);

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG - PIB

(7, 8, 24). Prowadzone są również systematyczne badania pozostałości substancji aktywnych środków ochrony roślin w żywności, paszach, wodach śródpolnych, ujęciach wody pitnej, jak również w glebie – tzw. monitoring dostarczający najbardziej wyczerpujących, a zarazem wiarygodnych i reprezentatywnych danych o poziomach i rozmiarach występowania ewentualnych skażeń tymi środkami chemicznymi (2, 5, 21).

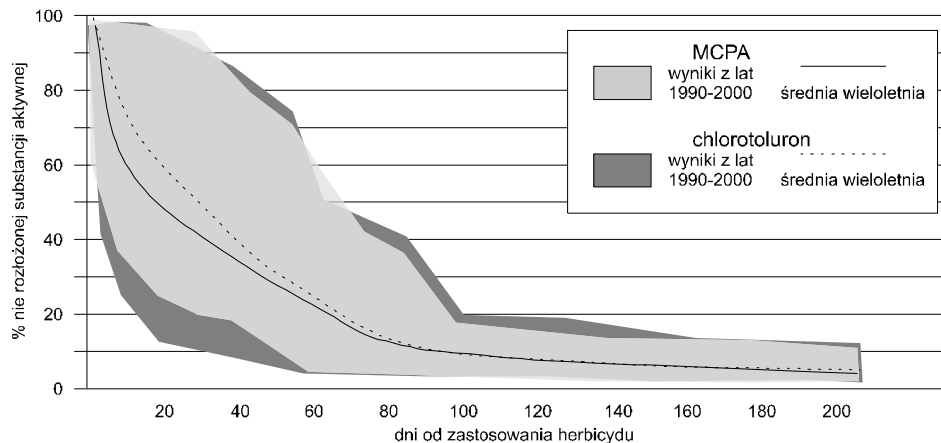
Dynamika i czas połowicznego rozkładu (DT_{50}) substancji aktywnych herbicydów

Jednym z głównych parametrów charakteryzujących środek ochrony roślin jest czas jego połowicznego rozkładu, czyli okres, po którym 50% związku ulegnie rozkładowi (do substancji prostych lub metabolitów nieaktywnych). Określenie tego wskaźnika związane jest z wyznaczeniem zależności rozkładu substancji aktywnej od czasu, czyli tzw. dynamiki rozkładu związku w danym środowisku (gleba, roślina). Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono przykładowe dynamiki rozkładu MCPA i chlortoluronu w glebie i roślinie pszenicy ozimej.

W zależności od okresu półrozpadu w glebie (DT_{50}) stosowane w praktyce rolniczej środki ochrony roślin można podzielić na:

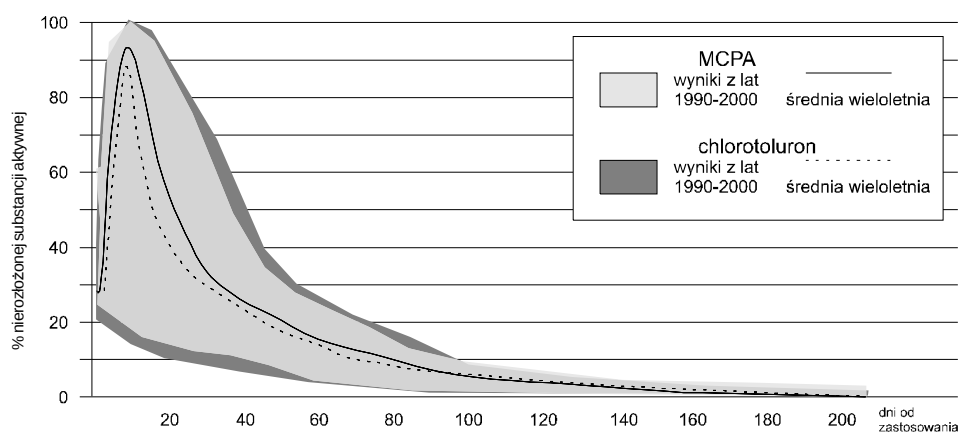
- mało trwałe ($DT_{50} < 20$ dni),
- średnio trwałe ($DT_{50} = 20-90$ dni),
- trwałe ($DT_{50} > 90$ dni); (6).

Znajomość czasu połowicznego rozkładu pozwala na wstępną selekcję i ewentualną eliminację lub ograniczenie w stosowaniu substancji, która ze względu na powolny rozkład może stanowić zagrożenie dla środowiska. Na rysunku 3 przedstawiono okresy połowicznego rozkładu wybranych substancji aktywnych herbicydów w glebie.

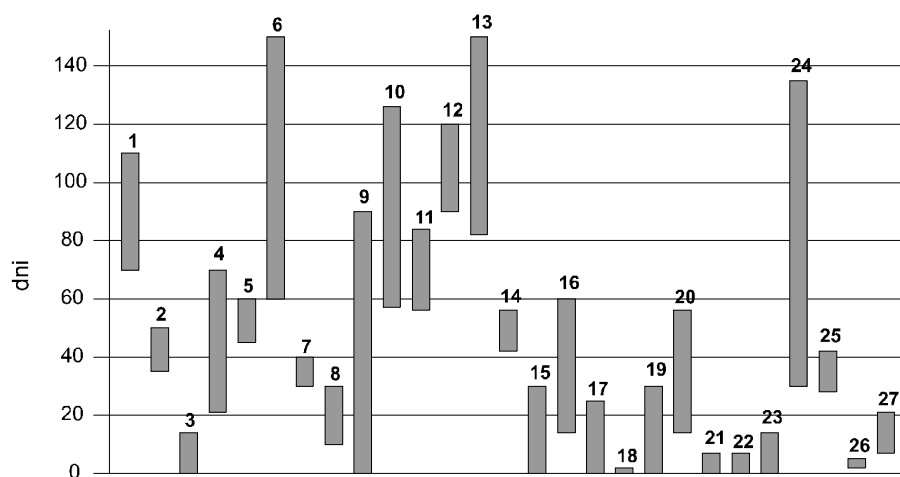


Rys. 1. Dynamika rozkładu MCPA i chlortoluronu w glebie (1990–2000)

Źródło: Sadowski i in., 2001 (19).



Rys. 2. Dynamika rozkładu MCPA i chlortoluronu w roślinie pszenicy (1990–2000)
Zródło: Sadowski i in., 2001 (19).



Rys. 3. Okresy połowicznego rozpadu w glebie wybranych substancji aktywnych herbicydów

1 = symazyna, 2 = atrazyna, 3 = cyjanazyna, 4 = terbutryna, 5 = monolinuron, 6 = linuron, 7 = chlortoluron, 8 = metoksuron, 9 = metabenzthiazuron, 10 = trifluralina, 11 = napropamid, 12 = pendimetalina, 13 = lenacil, 14 = chlorydazon, 15 = metolachlor, 16 = dimetachlor, 17 = fenmedifam, 18 = benazolina, 19 = propyzamid, 20 = chlopyralid, 21 = 2,4-D, 22 = MCPA, 23 = dikamba, 24 = chlomazon, 25 = chlorosulfuron, 26 = rimsulfuron, 27 = fluazifop-P

Zródło: Tomlin, 2006 (25).

Badania pozostałości substancji aktywnych herbicydów w glebie i roślinie

W ostatnim dwudziestolecu w IUNG (Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli we Wrocławiu) wykonano analizę 9,5 tysiąca próbek gleby i materiału roślinnego w celu identyfikacji i określenia poziomu pozostałości herbicydów (32 substancje aktywne). Probki pobierane były z doświadczeń poletkowych i plantacji produkcyjnych głównych upraw rolniczych, tj. zbóż (pszenica, jęczmień, żyto i pszenżyto), rzepaku ozimego, kukurydzy, buraka cukrowego, ziemniaka i grochu. Większość materiału do badań pochodziła z pól uprawnych zachodniej i południowo-zachodniej Polski. W tabeli 1 przedstawiono maksymalne wykryte pozostałości substancji aktywnych herbicydów w próbkach pochodzących z plantacji pszenicy ozimej.

O ewentualnym zagrożeniu, czy skażeniu produktów rolnych możemy mówić dopiero wtedy, gdy oznaczone stężenia pozostałości substancji aktywnych herbicydów przekraczają lub są zbliżone do wartości dopuszczalnych, określonych w normie. Obecnie wartości najwyższych dopuszczalnych pozostałości (NDP) zostały ujednolicone dla wszystkich państw Unii Europejskiej i zamieszczono je w rozporządzeniu Komisji WE (17). Powyższa norma odnosi się jedynie do pozostałości substancji aktywnych wykrywanych w produktach spożywczych i ich przetworach. W przypadku pozostałości w glebie można posłużyć się jedynie rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (18).

Dla oceny i interpretacji wyników badań uzyskane dane uszeregowano w dwóch grupach. Pierwsza to próbki, w których nie wykryto pozostałości substancji aktywnych herbicydów lub pozostałości były na granicy oznaczalności zastosowanych metod analitycznych (pozostałości 100 i więcej razy niższe od normy). Druga grupa to próbki, w których oznaczone pozostałości były wyższe od 0,001 mg · kg⁻¹ s.m. (od kilku do 100 razy niższe od normy). Dla ułatwienia przeprowadzonej analizy przyjęto,

Tabela 1

Pozostałości substancji aktywnych herbicydów w pszenicy ozimej (1990–2009)

Substancja aktywna	Pozostałości (mg · kg ⁻¹)		
	ziarno	słoma	gleba
2,4-D	0,046	0,056	0,031
MCPA	0,032	0,043	0,036
Dikamba	0,020	0,028	0,018
2,4-DP (dichlorprop)	0,029	0,032	0,026
Mekoprop	0,030	0,034	0,028
Fluroksypyr	0,004	0,006	0,009
Izoproturon	0,024	0,030	0,028
Chlortoluron	0,018	0,026	0,029
Klopyralid	0,030	0,036	0,032
Pendimetalina	0,036	0,042	0,034
Diflufenikan	0,010	0,018	0,016
Trifluralina	0,008	0,0106	0,004

Źródło: badania własne.

że dopuszczalne stężenie pozostałości w próbkach roślinnych wynosi $0,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, a w przypadku gleby (warstwa 0-30 cm) $0,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Zgodnie z przyjętym podziałem, na podstawie wieloletnich badań pozostałości substancji aktywnych herbicydów w głównych uprawach rolniczych, stwierdzono, że:

- średnio w 84% próbek roślinnych i 63% próbek gleby nie wykryto pozostałości analizowanych substancji lub stwierdzone stężenie pozostałości było na poziomie oznaczalności zastosowanych metod analitycznych (100 i więcej razy niższe od NDP);
- w przypadku 16% próbek roślinnych i 37% próbek gleby oznaczone pozostałości były wyższe od $0,001 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (od kilku do 100 razy niższe od NDP);
- w żadnej z analizowanych próbek roślinnych i glebowych nie stwierdzono pozostałości, których stężenie przekraczało wartości dopuszczalne.

Przedstawione wyniki badań pozostałości substancji aktywnych herbicydów w podstawowych uprawach rolniczych wskazują, że stosowanie herbicydów nie stanowi zagrożenia dla ludzi i środowiska rolniczego (w odniesieniu do norm). Jednak pobrane próbki roślinne i glebowe pochodziły z pól, na których wszystkie zabiegi agrotechniczne oraz aplikacja herbicydów była kontrolowana i zgodna z zaleceniami. Nie można jednak ustrzec się sporadycznych przypadków przekroczeń wartości dopuszczalnych, które spowodowane są zwykle niewiedzą rolników, złym stanem technicznym sprzętu opryskującego, przekraczaniem dawki zalecanej, stosowaniem środków podrabianych lub przemyślanym działaniem farmera, który celowo niszczy plantację, licząc na odszkodowanie (20). Na podstawie zgłoszeń związanych z oceną skutków omawianych nieprawidłowości można stwierdzić, że przekroczenia norm stężeń pozostałości występują w 10-20% przypadków, tj. 8-15 próbek rocznie (20).

Podobne badania prowadzane są dla innych upraw polowych, warzyw i owoców. Wyniki tych prac również potwierdzają obecność pozostałości środków ochrony roślin, a ich udział w poszczególnych grupach jest różny i zależy od przyjętej metodyki badań i sposobu ich interpretacji (1, 2, 5, 16, 22).

Ograniczanie dawek herbicydów, a zanieczyszczenie środowiska

W wielu krajach o zintensyfikowanym poziomie rolnictwa pojawiła się tendencja zmierzająca do racjonalnego ograniczania stosowania środków ochrony roślin, a zwłaszcza herbicydów. Działania te wynikają z proekologicznej polityki lansowanej w krajach Unii Europejskiej, a związane są z wprowadzeniem nowej strategii w ochronie roślin, polegającej na redukowaniu dawek oraz zmniejszaniu liczby zabiegów do niezbędnego minimum. W ślad za decyzjami rządowymi nadeszła pora na opracowanie konkretnych rozwiązań praktycznych. W wielu krajach rozpoczęto intensywne badania naukowe mające na celu wypracowanie, dla lokalnych warunków, właściwych metod umożliwiających zmniejszenie zużycia chemicznych środków ochrony roślin, z jednoczesnym zachowaniem pożądanej skuteczności działania. Poszukiwanie rozwiązań proekologicznych ukierunkowane zostało w stronę zmian w asortymencie stosowanych herbicydów (nowa generacja substancji aktywnych oparta na związkach

pochodnych sulfonilomocznika, które stosowane są w dawkach rzędu 20-100 g · ha⁻¹, herbicydy wieloskładnikowe itp.) oraz zmian w technice i sposobie aplikacji środków chwastobójczych. Do najważniejszych działań umożliwiających redukcję łącznej (sumarycznej) dawki herbicydów wprowadzanej do środowiska należy wykorzystanie właściwości środków wspomagających (adiuwantów) oraz stosowanie systemu dawek dzielonych i mikrodawek.

Na podstawie wyników badań prowadzonych na plantacjach buraka cukrowego można stwierdzić, że stosowanie adiuwantów oraz systemu dawek dzielonych znacząco ogranicza łączną ilość wprowadzanych do środowiska herbicydów bez obniżania poziomu skuteczności chwastobójczej i umożliwia obniżenie stężenia pozostałości tych substancji w glebie i korzeniach buraka nawet o 30-70%, w porównaniu z zawartością stwierdzoną przy stosowaniu tradycyjnych zabiegów ochrony roślin (14, 15).

Monitoring wód śródpolnych

Badania z zakresu zachowania się herbicydów w środowisku wykazały, że wiele substancji aktywnych może przenikać do wód gruntowych. Proces ten uzależniony jest od stopnia ich rozpuszczalności i poziomu sorpcji. Przenikać mogą przede wszystkim te herbicydy, które są stosunkowo słabo związane przez glebę i charakteryzują się większą trwałością (10, 11).

Wody powierzchniowe są znacznie bardziej narażone na zanieczyszczenia agrochemikaliami niż wody gruntowe. Herbicydy mogą się tam dostawać wskutek splukiwania cząsteczek gleby ze skłonów, a przede wszystkim jako wynik nieprawidłowości w czasie wykonywania oprysków (znoszenie cieczy opryskowej, wylwanie resztek cieczy roboczej, mycie opryskiwaczy itp.); (20).

W wielu krajach badania monitoringowe prowadzone są na dużą skalę. Obserwacji poddawane są wody powierzchniowe i gruntowe oraz ujęcia wody pitnej. Obok rutynowej kontroli czystości wód prowadzi się prace badawcze w terenie w celu weryfikacji wyników uzyskanych w badaniach modelowych oraz lepszego poznania mechanizmów i procesów wpływających na zachowanie się herbicydów w środowisku. Uzyskane przez poszczególnych autorów wyniki są różne w zależności od skali i metodyki badań.

Badania zanieczyszczeń herbicydowych wód śródpolnych prowadzono, wykorzystując sieć stałych punktów pobierania próbek wody w terenie. Sieć punktów rozpoczęto zakładać w roku 1983 na terenach rolniczych Dolnego Śląska. Obecnie wody pobierane są z 45 punktów, z których 27 obejmuje płynące wody powierzchniowe (cieki śródpolne, rowy melioracyjne), a 18 wody gruntowe (studnie o różnej głębokości). Próbkę wody pobierane są wiosną i jesienią, około 4-6 tygodni po nominalnym okresie aplikacji herbicydów (12).

Na podstawie wieloletnich badań (25 lat) stwierdzono, że zarówno w wodach powierzchniowych, jak i gruntowych występują pozostałości badanych substancji aktywnych herbicydów. Stężenia pozostałości i częstość ich występowania były zróżnicowane w zależności od miejsca i terminu pobierania próbek, warunków pogodowych

w danym roku, jak również od rodzaju uprawy i stosowanych środków ochrony roślin. W tabeli 2 przedstawiono maksymalne pozostałości dwunastu badanych substancji aktywnych, jakie wykryto w okresie od wiosny 2000 do jesieni 2005 roku. Najwyższe wykryte pozostałości w wodach powierzchniowych ($0,001\text{--}0,002\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) dotyczą substancji aktywnych herbicydów z grupy triazyn (atrazyna, symazyna) i pochodnych fenoksykwasów (2,4-D, MCPA). Pozostałości innych związków nie przekraczały stężenia $0,0005\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, a stężenia pozostałości w wodach gruntowych były niższe. Pozostałości substancji z grupy triazyn, pochodnych fenoksykwasów i chlorotoluronu, nie przekraczały $0,0005\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, a pozostałych $0,0001\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (tab. 3).

Tabela 2

Maksymalne pozostałości substancji aktywnych herbicydów wykryte w wodach powierzchniowych na terenach rolniczych Dolnego Śląska (2000–2005)

Substancja aktywna	Pozostałości ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	
	wiosna	jesień
Atrazyna	0,00128	0,00098
Symazyna	0,00104	0,00087
Cyjanazyna	0,00012	0,00012
Metamitron	0,00018	0,00012
2,4-D	0,00136	0,00086
MCPA	0,00220	0,00134
Dichlorprop	0,00008	0,00002
Dikamba	0,00048	0,00034
Klopyralid	0,00006	0,00004
Izoproturon	0,00044	0,00038
Linuron	0,00032	0,00024
Chlortoluron	0,00046	0,00040

Źródło: badania własne.

Tabela 3

Maksymalne pozostałości substancji aktywnych herbicydów wykryte w wodach gruntowych na terenach rolniczych Dolnego Śląska (2000–2005)

Substancja aktywna	Pozostałości ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	
	wiosna	jesień
Atrazyna	0,00048	0,00036
Symazyna	0,00036	0,00022
Cyjanazyna	0,00006	0,00004
Metamitron	0,00008	0,00010
2,4-D	0,00034	0,00026
MCPA	0,00052	0,00036
Dichlorprop	0,00002	0,00002
Dikamba	0,00014	0,00008
Klopyralid	0,00002	0,00002
Izoproturon	0,00008	0,00006
Linuron	0,00010	0,00005
Chlortoluron	0,00018	0,00016

Źródło: badania własne.

Oceny wielkości skażeń herbicydowych w wodach gruntowych dokonano, porównując wyniki badań do norm określających dopuszczalny poziom pozostałości w wodzie pitnej (4). Dyrektywa określa jako dopuszczalny poziom pozostałości 0,0001 mg · L⁻¹ pojedynczej substancji i 0,0005 mg · L⁻¹ pozostałości sumarycznych. Podobnie jak w przypadku pozostałości w glebie i materiale roślinnym prowadzone badania monitoringowe wskazują, że w przypadku wód powierzchniowych odsetek prób, w których nie wykryto pozostałości wynosił 79%, próbek z pozostałościami było 17%, a próbek z pozostałościami przekraczającymi normy dla wody pitnej 4%. W przypadku wody gruntowej udział próbek wynosił odpowiednio 85, 14 i 1%.

Podsumowanie

Wyniki badań prowadzonych w ostatnim dwudziestoleciu na plantacjach głównych upraw rolniczych nie wykazały, aby w roślinach wykryto pozostałości substancji aktywnych herbicydów w stężeniu przekraczającym wartości podane w normach.

Przestrzeganie zaleceń producentów środków ochrony roślin, jak również zasad dobrej praktyki rolniczej znacząco ogranicza możliwości wystąpienia zanieczyszczeń gleby bądź produktów roślinnych. Nie można się jednak ustrzec sporadycznych przypadków przekroczeń dopuszczalnego poziomu pozostałości w materiale roślinnym lub glebie.

Oprócz badań monitoringowych ważne są również badania modelowe. Prowadzenie tych prac pozwala lepiej poznać zachowanie się herbicydów w środowisku (gleba, woda) i materiale roślinnym oraz na selekcję i ewentualną eliminację lub ograniczenie w stosowaniu tych substancji, które ze względu na np.: powolny rozkład, kumulację w częściach zielonych i owocach, szybkie przemieszczanie w profilu glebowym i przenikanie do wód, może stanowić zagrożenie dla środowiska.

Dalsze prowadzenie badań modelowych i monitoringowych gleb, produktów roślinnych i wody są konieczne w celu wychwycenia bezpośrednich i pośrednich zagrożeń, jakie dla człowieka i środowiska stwarzać mogą stosowane w produkcji rolniczej środki ochrony roślin. Stanowią one również element nowoczesnego rolnictwa, ochrony środowiska i jakościowej kontroli produktów rolnych.

Literatura

1. Boobis A.R., Ossendorp B.C., Banasiak U., Hamey P.Y., Sebestyen I., Moretto A.: Cumulative risk assessment of pesticide residues in food. *Toxicol. Lett.*, 2008, **180(2)**: 137-140.
2. Dąbrowski J., Nowacka A., Martinek B., Walorczyk S., Drożdżyński D., Schwarz K., Kudła M., Gierschendorf Z., Chmielewska E., Barylska E., Ziółkowski A., Giza I., Murawska M., Sztwiertnia U., Morzycka B., Sadło S., Rupar J., Langowska B., Michel M.: Obraz skażeń pozostałościami chemicznych środków ochrony roślin upraw rolniczych w Polsce w latach 1996–2000. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2001, **41(1)**: 95-109.

3. Drożdżyński D.: Residues and transfer of triazine herbicides in ground waters of intensively exploited arable land in Wielkopolska province of Poland. *J. Plant Prot. Res.*, 2006, **46(2)**: 145-151.
4. Dyrektywa **98/83/EC** Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 3 listopada 1998 w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.
5. Gnusowski B., Nowacka A., Giza I., Sztwiertnia U., Łozowicka B., Kaczyński P., Szpyrka E., Rupar J., Rogozińska K., Kuźmenko A., Sadło S.: Kontrola pozostałości środków ochrony roślin w paszach pochodzenia roślinnego w roku 2006. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2007, **47(4)**: 38-41.
6. Greenhalgh R.: Definition of persistence in pesticide chemistry. *Pure Anal. Appl. Chem.*, 1980, **52**: 2563-2566.
7. Jun C., Hua G., Hongmei Z., Lei J., Hong Y.: Effects of SOM, surfactant and pH on the sorption-desorption and mobility of prometryne in soils. *Chemosphere*, 2008, **70(11)**: 2127-2135.
8. Kaushik M., Neera S.: Effect of soil amendments on sorption and mobility of metribuzin in soil. *Chemosphere*, 2007, **66(4)**: 630-638.
9. Koskinen W.C., Calderon M.J., Rice P.J., Cornejo J.: Sorption-desorption of flucarbazone and propoxycarbazone and their benzenesulfonamide and triazolinone metabolites in two soils. *Pest Manag. Sci.*, 2006, **62(7)**: 598-608.
10. Kostowska B., Sadowski J.: Przemieszczanie w profilu glebowym herbicydów stosowanych do odchwaszczania kukurydzy. *Mat. 32 Sesji Nauk. IOR*, 1992, **32(2)**: 164-167.
11. Kostowska B., Głabiszewski J., Kiepuł J.: Przemieszczanie się w glebie niektórych herbicydów stosowanych w ziemniakach, jęczmieniu jarym i kukurydzy w doświadczeniach lizymetrycznych. *Mat. 26 Sesji Nauk. IOR*, 1986, **26(2)**: 321-328.
12. Kucharski M.: Pozostałości herbicydów w wodach powierzchniowych i gruntowych na terenach rolniczych. *Pam. Puł.*, 2004, **138**: 89-97.
13. Kucharski M.: Regulacja zachwaszczenia – stan aktualny i potrzeby. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2008, **48(1)**: 20-24.
14. Kucharski M.: Changes in application system – influence on herbicides residue in soil and sugar beet roots. *J. Plant Prot. Res.*, 2009, **49(4)**: 385-389.
15. Kucharski M., Domaradzki K., Wujek B.: Micro-rates of herbicides used in sugar beet crop – influence on herbicide residues level in roots and soil. *Pestycydy/Pesticides*, 2008, **(3-4)**: 63-69.
16. Nowacka A., Gnusowski B., Dąbrowski J., Walorczyk S., Drożdżyński D., Wójcik A., Barylska E., Ziółkowski A., Chmielewska E., Morzycka B., Giza I., Sztwiertnia U., Sadło S., Rupar J., Szpyrka E., Rogozińska K., Kuźmenko A.: Pozostałości środków ochrony roślin w płodach rolnych (rok 2004). *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2005, **45(1)**: 305-316.
17. Rozporządzenie Komisji WE nr 839/2008 z dn. 31 lipca 2008. *Dz. U. L* **234** z 30.08.2008, 1-216.
18. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi *Dz. U. Nr* 02.165.1359 z 04.10.2002.
19. Sadowski J., Kucharski M., Rola H.: Pozostałości herbicydów w środowisku glebowo-wodnym. *UWM Olsztyn, Biul. Nauk.*, 2001, **12**: 23-32.
20. Sadowski J., Kucharski M.: Skutki niewłaściwego, w tym celowego stosowania herbicydów. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2005, **45(1)**: 429-434.
21. Sadowski J., Kucharski M.: Herbicide residues of water in the water-collecting area of Widawa river. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2006, **15(5)**: 441-445.
22. Singh D.K., Singh G., Srivastava A., Sand N.K.: Harvest time residue of isoproturon in soil, wheat grain and straw. *Pant. J. Res.*, 2008, **6(1)**: 125-127.
23. Sekutowski T., Sadowski J., Kucharski M.: Dynamika rozkładu i przemieszczania się w glebie chlorosulfuronu. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2008, **48(4)**: 1250-1254.
24. Shobha S.: Terminal residues of imazethapyr in soybean grains, straw and soil. *Pest. Res. J.*, 2008, **20(1)**: 128-129.

25. T o m l i n C. D. S.: The pesticide manual (14th ed.). BCPC Publication: Alton-Hampshire, UK, 2006.

Adres do korespondencji:

doc. dr hab. Mariusz Kucharski
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel.: (71) 363 87 07 wew. 105
e-mail: m.kucharski@iung.wroclaw.pl

Zbigniew W. Kundzewicz^{1,2}, Andrzej Kędziora¹

¹Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN w Poznaniu

²Poczdamski Instytut Badań nad Konsekwencjami Klimatu w Poczdamie (Niemcy)

ZMIANY KLIMATU I ICH WPŁYW NA ŚRODOWISKO I GOSPODARKE (OBSERWACJE I PROJEKCJE)

Przyczyny zmian klimatu

Klimat naszej planety zmieniał się wielokrotnie w historii, a okresy chłodniejsze przeplatały się z cieplejszymi. Przyczyny zmian klimatu można podzielić na następujące cztery grupy:

- wahania promieniowania słonecznego (aktywność Słońca),
- zmiana parametrów ruchu Ziemi wokół Słońca (cykle zmian mimośrodowo-eliptycznej orbity, precesji i kąta nachylenia osi ziemskiej do płaszczyzny ekliptyki),
- zmiana składu atmosfery ziemskiej (gazy cieplarniane, pyły, aerozole),
- zmiana właściwości powierzchni Ziemi (współczynnik odbicia, retencja wodna, zmiana użytkowania terenu).

Na pierwsze dwie przyczyny człowiek nie ma wpływu, przebiegają one bowiem w sposób naturalny. Na pozostałe dwa mechanizmy wpływ mają zarówno czynniki naturalne, jak i człowiek.

Niektórzy twierdzą, że obecne zmiany klimatu nie są niczym szczególnym, podobnie jak wiele poprzednich. Istnieją jednak mocne przesłanki ku stwierdzeniu, że obecne ocieplenie różni się w istotny sposób od wielu wcześniejszych okresów wzrostu temperatury. Te wcześniejsze wywołane były bowiem zmianami naturalnymi: aktywnością Słońca, okresową zmianą parametrów orbitalnych, czy naturalną zmianą składu ziemskiej atmosfery (np. w wyniku megaerupcji wulkanu lub uderzenia wielkiego meteorytu w powierzchnię Ziemi). Poprzednie zmiany odbywały się więc bez znaczącej obecności ludzkiej, np. podczas wyjścia z ostatniej epoki lodowcowej ludzie na całej Ziemi było mniej niż teraz w jednym wielkim mieście. Ludzie nie obciążali więc w istotny sposób systemu ziemskiego. W zmianach klimatu ważną rolę odgrywały sprzężenia zwrotne związane z właściwościami powierzchni Ziemi (lód i śnieg, zmarzlina, roślinność).

Za zachodzące obecnie zmiany klimatu w znacznej mierze odpowiedzialne są działania ludzkie, które spowodowały nie tylko wyraźną intensyfikację efektu cieplarnianego, ale, co ważniejsze, w wyniku istotnych zmian charakteru powierzchni Ziemi zmieniły strukturę bilansu cieplnego systemu Ziemia – atmosfera. Zmniejszenie obfi-

tości szaty roślinnej spowodowało zmianę struktury bilansu cieplnego, polegającą na zwiększaniu się strumienia ciepła jawnego kosztem ciepła utajonego. Transformacja strumienia energii słonecznej w strumień ciepła utajonego nie skutkuje zmianami temperatury w warstwie atmosfery przy powierzchniowej. Powoduje natomiast wzrost temperatury wyższych warstw stratosfery i w efekcie większe wypromieniowanie ciepła przez system ziemski. Jest to bardzo istotny mechanizm stabilizujący warunki energetyczne systemu. Natomiast wzrost strumienia ciepła jawnego skutkuje wzrostem temperatury powierzchni Ziemi i warstw atmosfery do niej przyległych, nie powoduje natomiast wzrostu temperatury wyższych warstw troposfery. W efekcie przyczynia się do gromadzenia zasobów energetycznych w warstwach przy powierzchniowych atmosfery ziemskiej.

Na świecie żyje dziś niemal 7 miliardów ludzi, którzy zużywają coraz więcej energii i drastycznie zmieniają powierzchnię Ziemi. Rosną więc emisje i atmosferyczne stężenie dwutlenku węgla (wskutek wzrostu spalania węgla, ropy i gazu, a także ograniczenia możliwości wiązania węgla przez roślinność, spowodowanego wylesieniem, zwłaszcza w tropikach), metanu (produkcja ryżu, chów bydła, topnienie wiecznej zmarzliny) i podtlenku azotu (rolnictwo). W efekcie „dach” naszej globalnej szklarni zatrzymuje coraz więcej promieniowania długofalowego emitowanego przez Ziemię, które opuściłoby system ziemski. Brak jest alternatywnego sposobu poważnego wyjaśnienia przyczyn wzrostu temperatury w ostatnich dekadach.

W najnowszym raporcie Międzyrządowej Komisji Zmian Klimatu (IPCC 2007) zawierającym ocenę bieżącego stanu wiedzy o zmianach klimatu, ich konsekwencjach oraz możliwościach adaptacji i przeciwdziałania, znajdujemy mocne stwierdzenie: „Większość zaobserwowanego wzrostu średniej temperatury globalnej od połowy XX wieku jest bardzo prawdopodobnie¹ spowodowana wywołanym przez człowieka wzrostem stężenia gazów cieplarnianych”.

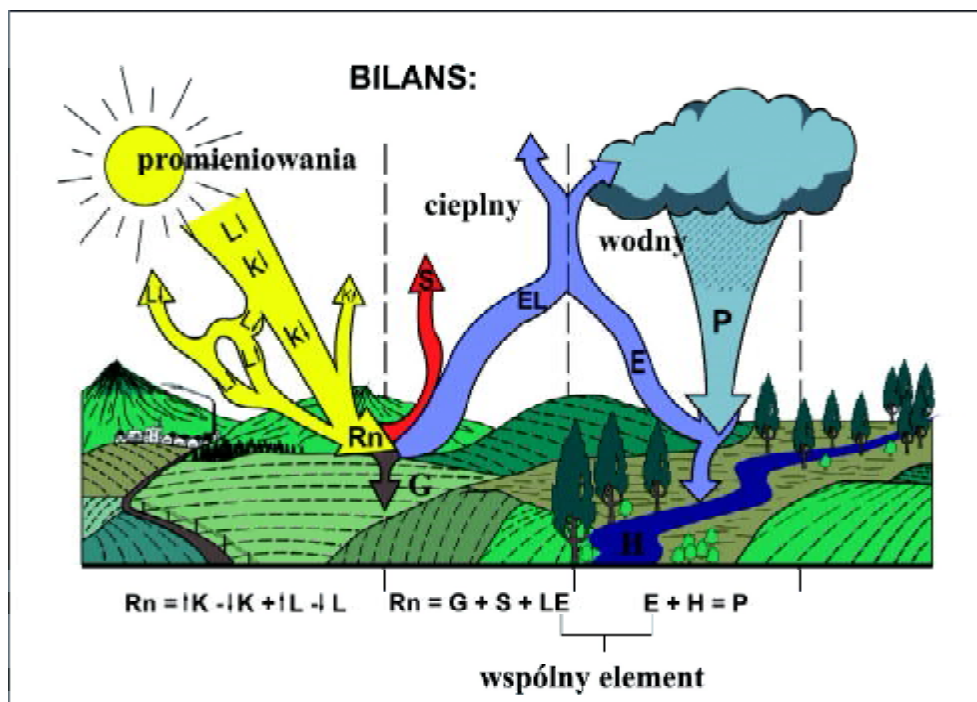
Zachowanie atmosfery zależy od jej składu – atmosfera odpowiada na to, co do niej wpuszczamy (gazy cieplarniane, pyły i aerozole) – oraz od tego, co znajduje się pod nią, na powierzchni Ziemi (klimat reaguje więc na użytkowanie terenu). Szczególnie istotna jest obecność (lub nieobecność) wody i szaty roślinnej (7). Woda dzięki wysokiemu ciepłu utajonemu przemian fazowych jest naturalnym czynnikiem łagodzącym klimat, natomiast szata roślinna jest czynnikiem wpływającym na rozdział energii słonecznej na utajony i jawny strumień ciepła.

Nie istnieje obecnie żaden poważny sposób wytłumaczenia zaobserwowanego wzrostu temperatury globalnej oprócz intensyfikacji tzw. efektu cieplarnianego (w wyniku wprowadzenia przez ludzi dużych ilości gazów cieplarnianych do atmosfery) oraz zubożenia szaty roślinnej planety. Od czasu rewolucji przemysłowej ludzkość przeprowadza eksperyment w skali planetarnej poprzez wprowadzanie do atmosfery ogromnych ilości dwutlenku węgla i innych gazów cieplarnianych oraz wylesienie w wielkiej skali, prowadzące do zmniejszenia możliwości wiązania dwutlenku węgla

¹według autorów (Z.W. Kundzewicz i A. Kędziora) interpretacja terminu „bardzo prawdopodobnie” = ponad 90%.

przez rośliny. Węgiel z paliw kopalnych, które powstawały w skorupie ziemskiej przez wiele milionów lat jest uwalniany do atmosfery w postaci dwutlenku węgla w skali czasowej dziesięcioleci.

Ponieważ bilans cieplny i bilans wodny systemu ziemskiego są ze sobą ściśle powiązane poprzez strumień ciepła utajonego (w bilansie cieplnym) i strumień pary wodnej (w bilansie wodnym) każda zmiana w jednym z tych bilansów wywołuje zmianę w drugim (rys. 1).



Rys. 1. Ciepły i wodny bilans promieniowania

Źródło: opracowanie własne.

Zmiany wartości strumieni promieniowania na powierzchni Ziemi, kształtujące transport ciepła i masy (wody), mają wpływ na cykl hydrologiczny. Wzmagający się efekt cieplarniany i ocieplenie wywierają wyraźny wpływ na wszystkie procesy składające się na obieg wody w przyrodzie, w tym na proces przepływu rzeczny, który stanowi najczęściej stosowaną charakterystykę odnawialnych zasobów wodnych, na jego wartość średnią, rozkład sezonowy i charakterystyki zmienności.

Obserwacje zmian klimatu i ich skutków

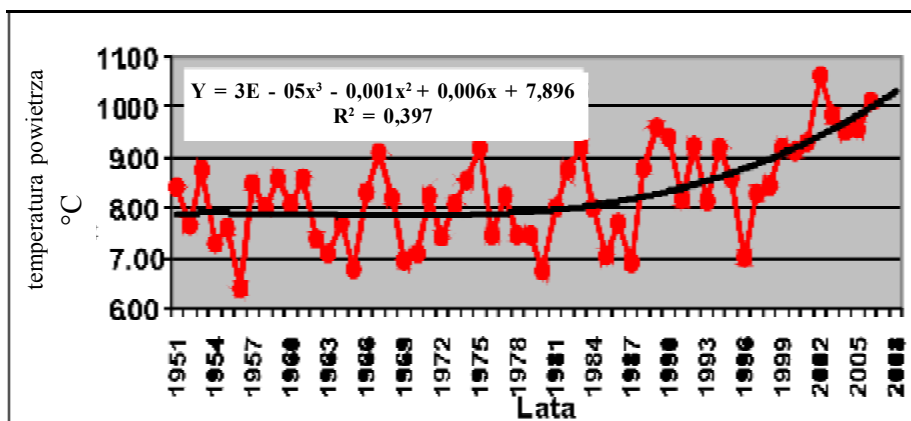
Istnieją coraz silniejsze dowody na poparcie hipotezy, że ziemski klimat ociepla się – obserwujemy wyraźną tendencję wzrostu temperatury globalnej. Każdy kolejny rok z ostatniego dwudziestolecia wpisuje się w obraz cieplejszego świata. Dziesięciolecie 2000–2009 jest zdecydowanie najcieplejsze w historii globalnych obserwacji temperatury.

Na wyraźną tendencję wzrostową temperatury nakłada się jednak silna zmienność naturalna – temperatura globalna w konkretnym roku układa się czasem pod, a czasem nad linią trendu. Oczywiście rosnącego trendu wartości rocznych temperatury globalnej nie zakłóca mroźna pogoda w Polsce w styczniu czy na początku marca 2010 r. Okazuje się nawet, że – globalnie – styczeń 2010 r. był ciepły.

Oprócz skali globalnej klimat ociepla się we wszystkich skalach przestrzennych, choć ocieplenie nie ma jednostajnego tempa. Na rysunku 2 przedstawiono zmiany średniej temperatury rocznej powietrza na stacji meteorologicznej w Kole; temperatura rośnie coraz szybciej.

Ciekawe wyniki uzyskujemy z analizy temperatur kolejnych 12 miesięcy, umożliwiającą bardziej wnikliwe spojrzenie na zmienność klimatu niż badanie wyłącznie lat kalendarzowych. Przyjmijmy więc jako wskaźnik temperaturę średnią kolejnych 12 miesięcy, a więc rocznego okresu rozpoczynającego się pierwszego dnia dowolnego miesiąca. Okazuje się, że natura pobiła, i to bardzo wyraźnie, takie rekordy w roku 2007 i to w kilku różnych skalach przestrzennych.

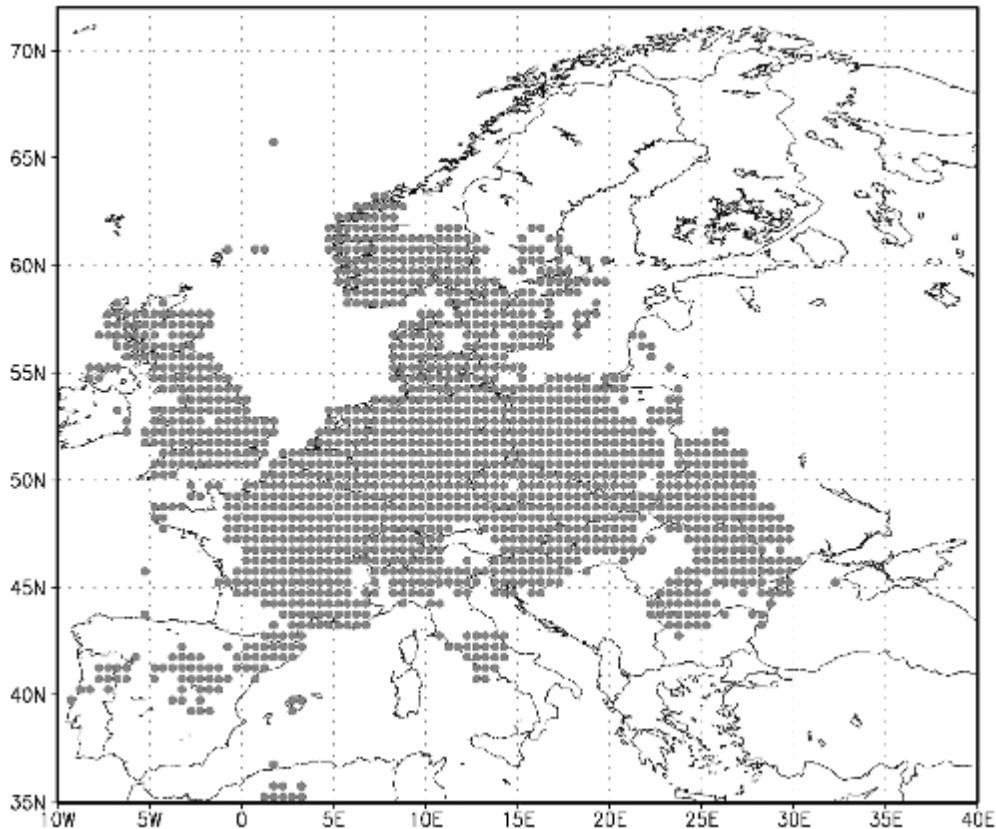
Z analizy 25 długich szeregów czasowych obserwacji na stacjach niemieckich wynika, że wszędzie zostały ustanowione nowe rekordy temperatury średniej kolejnych 12 miesięcy (na ogół w okresie lipiec 2006 r. – czerwiec 2007 r.). W przypadku jednej stacji (Magdeburg) dotychczasowy rekord został przewyższony aż o 1,9°C.



Rys. 2. Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza na stacji meteorologicznej w Kole w okresie 1951–2006

Źródło: opracowanie własne.

Okres od marca 2006 r. do czerwca 2007 r. okazał się wyjątkowo ciepły w znacznej części kontynentu europejskiego (rys. 3), a okres od czerwca 2006 r. do maja 2007 r. był najcieplejszy na całej półkuli północnej (8).

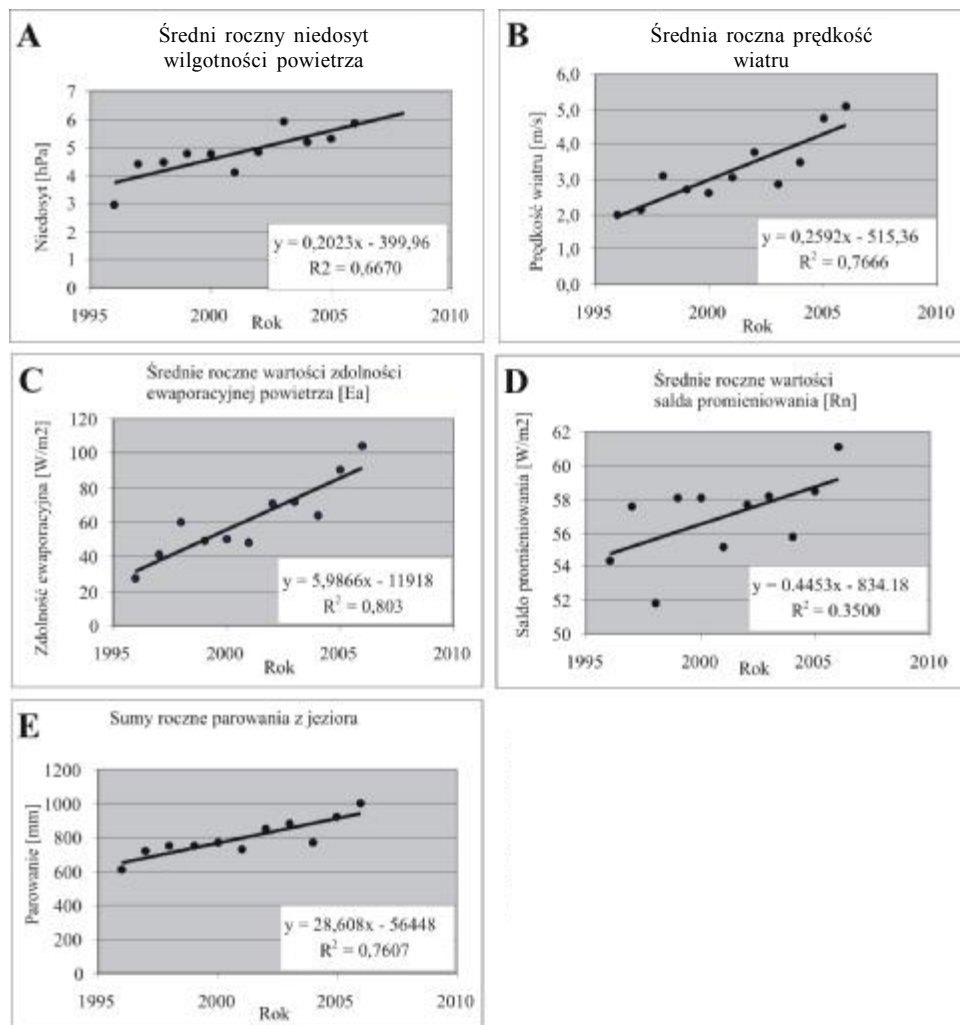


Rys. 3. Oczka siatki prostokątnej w Europie, w których wystąpiły rekordowe wartości temperatury średniej kolejnych 12 miesięcy (biorąc pod uwagę cały rozważany okres 1901–2007) wystąpiły w latach 2006/2007. Zaznaczono tylko rekordy wyższe niż dwa odchylenia standardowe ponad średnią w latach 1901–2007

Źródło: Kundzewicz i in., 2009 (8).

W kategorii lat kalendarzowych najcieplejszy w Polsce był rok 2000, choć są stacje, gdzie w roku 2007 rekordy najwyższej temperatury były wyrównane (np. Warszawa, Poznań), a nawet pobite (np. Łeba). Natomiast w kategorii najcieplejszych okresów 12-miesięcznych natura poprawiła rekord (od lipca 2006 r. do czerwca 2007 r.) w bardzo wielu oczkach siatki pokrywającej Polskę.

Choć globalne zmiany klimatu utożsamia się potocznie ze wzrostem temperatury inne zmienne klimatyczne (np. opad, zachmurzenie, parowanie, prędkość wiatru) też ulegają zmianom. Obserwowane opady atmosferyczne wykazują wzrost w tempie od 0,5 do 1% na dekadę w większości obszarów półkuli północnej o średnich i wysokich szerokościach geograficznych (szczególnie zauważalny jesienią i zimą). Zaobserwo-



Rys. 4. Wzrost parowania z powierzchni jeziora jako wynik zmian elementów meteorologicznych.

Wzrost niedosytu wilgotności powietrza (A) i prędkości wiatru (B) powoduje wzrost zdolności ewaporacyjnej powietrza (C), co wraz ze wzrostem salda promieniowania (D) prowadzi do silnego wzrostu parowania (E). Polska 1996–2006

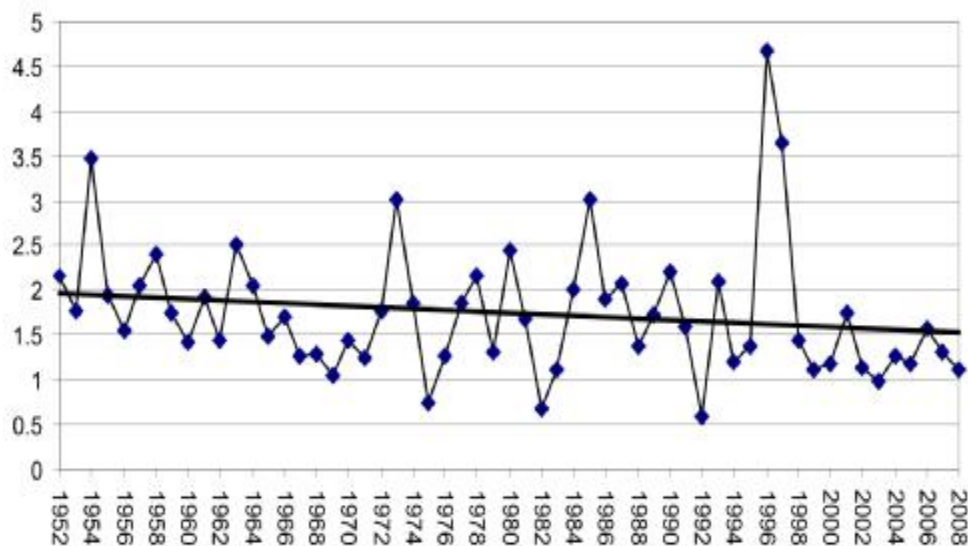
Źródło: opracowanie własne.

wano intensyfikację cyklu hydrologicznego, tj. wzrost częstości występowania opadów intensywnych oraz wzrost liczby dni bez opadu. Wzrosła także powierzchnia terenów dotkniętych suszą. Chociaż obserwowane zmiany poziomu jezior i wód gruntowych są w dużej mierze wynikiem błędów popełnionych przez człowieka w gospodarowaniu wodą (zmiany użytkowania terenu, wylesienie, nadmierne odwodnienie, urbanizacja), to jednak w dużym stopniu wynikają ze zmian klimatycznych, które miały miejsce w ostatnich kilkunastu latach (rys. 4).

Zmiany opadów (a także przepływów rzecznych, które stanowią najczęściej stosowaną charakterystykę odnawialnych zasobów wody słodkiej) są jednak różne

w różnych regionach. W niektórych regionach świata opady wzrosły (np. na północ od szerokości 30°N w okresie 1901–2005), a zmalały w innych (np. między szerokościami 10°S i 30°N od lat 1970.).

Na znacznych obszarach charakter opadów zimowych zmienił się. Wskutek wzrostu temperatury maleją opady śniegu i mniejsza jest grubość pokrywy śnieżnej (choć – rzecz jasna nie jest tak, że mamy mniej śniegu każdej zimy; w styczniu i lutym 2010 r. śniegu było w Polsce dużo), a rośnie objętość i częstotliwość zimowych deszczy. Zmienia się też czasowy reżim procesów hydrologicznych, a więc ich rozkład sezonowy; zmniejszył się stosunek opadów letnich do zimowych (rys. 5). W cieplejszym klimacie rośnie również intensywność opadów – dłuższe okresy posuszne przerywane są intensywnymi opadami. Częstsze opady nawalne stają się problemem w szybko rozrastających się aglomeracjach, gdzie kanalizacja deszczowa zaprojektowana i wykonana była przed kilkudziesięciu laty, a z upływem czasu nastąpił znaczny wzrost liczby ludności i powierzchni nieprzepuszczalnych (9).



Rys. 5. Stosunek opadów letnich do zimowych w Poznaniu

Źródło: Pińskwar, 2009 (16).

Bardzo silne zmiany dostrzeżono w kriosferze (lodowcach i lodach, pokrywie śnieżnej i zmarzlinie). Kriosfera integruje zmienność klimatu, więc dynamika zasięgu i rozmiaru kriosfery jest pierwszorzędym, bardzo wrażliwym wskaźnikiem zmian klimatu, reagującym nawet na małe zmiany bilansu cieplnego. Wyraźnym świadectwem globalnego ocieplenia jest obserwowane kurczenie się kriosfery, tj. pokrywy śnieżnej, lodu i zmarzliny, z konsekwencjami dla ekosystemów i ludzi. Zdjęcia satelitarne dowodzą, że globalna powierzchnia pokrywy śnieżnej zmniejszyła się o 10% w porównaniu z jej stanem w latach sześćdziesiątych, zwłaszcza na wiosnę i w lecie. Obserwujemy masowe topnienie, kurczenie się i wyraźne cofanie się większości lodowców

górkich (13). Nieliczne przypadki ekspansji elementów zmarzliny można tłumaczyć wzrostem opadów (tam, gdzie mimo wzrostu temperatura była ciągle ujemna, a wzrosły opady śniegu). Liczne rzeki i jeziora rzadziej zamarzają. Tam, gdzie to się jeszcze dzieje znaczącym zmianom uległy daty zamarzania rzek i jezior oraz pęknięcia pokrywy lodowej. Skracają się okresy zlodzenia.

Podnosi się poziom oceanów (obecnie w tempie ok. 3 mm rocznie) w wyniku rozszerzalności cieplnej (cieplejsza woda zajmuje więcej miejsca), a także topnienia kriosfery.

Koszty zjawisk ekstremalnych, globalnie i w Europie, wykazują gwałtowny trend rosnący na przestrzeni czterech dekad, z uwzględnieniem inflacji. Straty wywołane katastrofami naturalnymi, głównie związanymi z pogodą i wodą, wzrosły znacznie gwałtowniej niż wzrosła populacja, czy nastąpił wzrost ekonomiczny (14). Wpływ klimatu na zaobserwowane zmiany w stratach jest prawdopodobny, często jednak czynnikiem dominującym jest fakt, iż to ludzie wkraczają na tereny zalewowe o dużym potencjale strat.

Oprócz wzrostu ryzyka niszczącego nadmiaru wód w ostatnich trzech dekadach zanotowano wzrost zakresu występowania susz, które stały się częstsze, bardziej intensywne i dłuższe z powodu zmniejszających się opadów na niektórych obszarach, a także ocieplenia, które powoduje wzrost parowania i wysychanie. Dai i in. (1) pokazali, że globalna powierzchnia obszarów bardzo suchych wzrosła ponad dwukrotnie od lat 1970. W ostatnich latach zanotowano szereg dotkliwych wystąpień wielkoobszarowych susz, okresów, w których opad był znacznie niższy od wartości średniej, a dodatkowo występowały fale upałów, które powodowały silny wzrost parowania. Generalnie w systemach wodnych zaobserwowano ocieplenie rzek i jezior z konsekwencjami dla jakości wody. Następuje intensyfikacja procesu eutrofizacji.

Świadectwo obserwacji ze wszystkich kontynentów i większości oceanów wskazuje, że wiele systemów fizycznych i biologicznych podlega oddziaływaniu regionalnych zmian klimatu, a zwłaszcza wzrostu temperatury i poziomu morza. Wpływ zmian klimatu może być trudny do odróżnienia od przyczyn pozaklimatycznych, jak na przykład zmiany użytkowania terenu (urbanizacja, wylesienie). Uległy zmianie częstość i intensywność występowania ekstremalnych zjawisk związanych z pogodą.

W systemach biologicznych zauważono wiele zmian związanych z fenologią, wynikających ze wzrostu temperatury (np. wcześniejsze nadejście wiosny, rozwój liści, kwitnienie, przyloty ptaków, składanie jaj), a także wynikających ze zmian pokrywy śnieżnej, lodowej i poziomu tlenu (związanych z ociepleniem). Zaobserwowano wiele przypadków przesuwania się zasięgu występowania gatunków flory i fauny w kierunku odpowiedniego klimatu (w poszukiwaniu właściwych temperatur), a więc ku biegunom i na wyższe wysokości. Wzrost atmosferycznego stężenia dwutlenku węgla spowodował wzrost kwasowości oceanów o 0,1 pH, licząc od roku 1750.

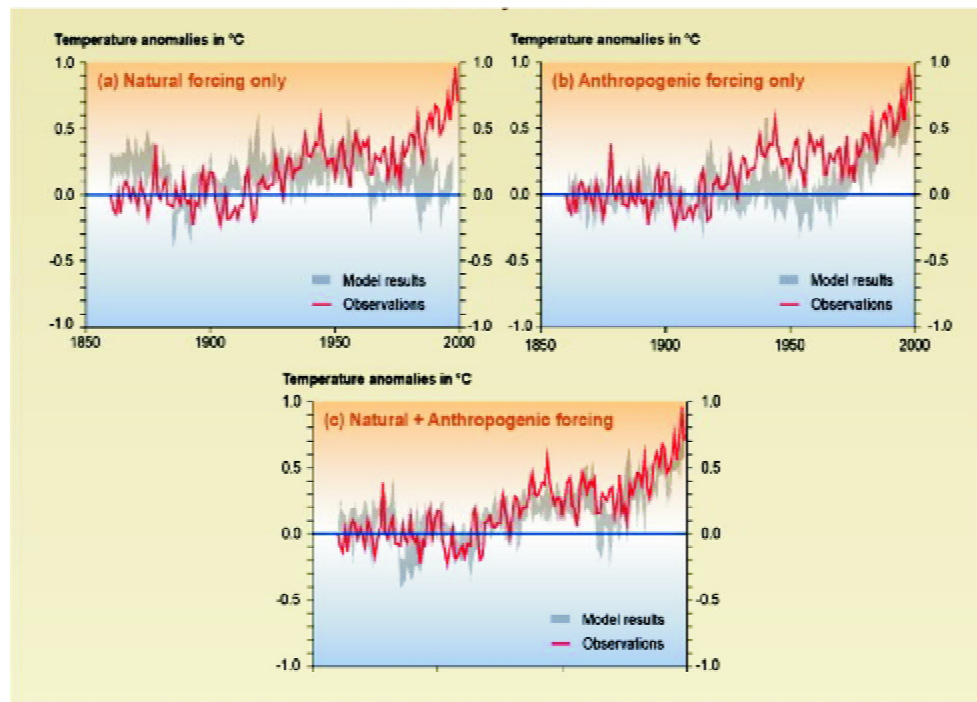
Efekty zmian klimatu obserwuje się w rolnictwie i leśnictwie (zmiany czasu wystąpienia faz fizjologicznych, terminów zabiegów agrotechnicznych). Zanotowano zmiany zasięgu szkodników.

Projekcje zmian klimatu i ich skutków

Można próbować wnioskować o przyszłości poprzez ekstrapolację istniejącego trendu zmian temperatury oraz poprzez modele matematyczne oparte na prawach fizyki. Badania modelowe wzmacniają argumenty o antropogenicznym podłożu obecnych zmian klimatu.

Używając modeli matematycznych przy założeniu wymuszeń naturalnych (aktywność słoneczna, erupcje wulkanów) i antropogenicznych (wzrost atmosferycznych stężeń gazów cieplarnianych, ubożenie szaty roślinnej ziemi) jesteśmy w stanie odtworzyć zasadnicze cechy zaobserwowanego przebiegu temperatury globalnej, w tym brak wzrostu, a nawet lekki spadek temperatury w latach 1945–1975. Zakładając natomiast wyłącznie naturalne wymuszenia, nie jesteśmy w stanie wyjaśnić przebiegu temperatury w ciągu ostatnich 40 lat. Wymuszenia naturalne nie tłumaczą bowiem wzrostu temperatury w ciągu ostatnich dziesięcioleci (rys. 6).

Modele klimatu zgadzają się co do kierunku zmian temperatury (choć niekoniecznie co do wartości) do końca XXI wieku, przewidując wszędzie ocieplenie, przy czym silniejsze ocieplenie oczekiwane jest w wysokich szerokościach geograficznych na



Rys. 6. Porównanie między obserwowanym i modelowanym wzrostem temperatury globalnej od roku 1860. (a) wymuszenia naturalne; (b) wymuszenia antropogeniczne; (c) wymuszenia naturalne i antropogeniczne

Źródło: IPCC, 2001 (3).

półkuli północnej. Najbardziej prawdopodobny zakres ocieplenia w horyzoncie roku 2100 dla różnych scenariuszy rozwoju gospodarczego i emisji, ale bez uwzględnienia ochrony klimatu, wynosi od 1,8 do 4,0°C w porównaniu z okresem 1980–1999 (czyli od 2,3 do 4,5°C w porównaniu z okresem przedprzemysłowym). Pomędzy rozważanymi scenariuszami emisji CO₂ są znaczne różnice jeśli chodzi o projektowany zakres zmian temperatur. Najmniej korzystny scenariusz zakłada, że rozwój gospodarki światowej przebiega szybko, ale głównie w oparciu o spalanie tradycyjnych paliw kopalnych. Gdyby ziścił się ten scenariusz temperatura globalna do końca wieku może wzrosnąć w zakresie od 2,4 do 6,4°C w porównaniu ze stanem z końcówki zeszłego stulecia. W najbardziej korzystnym scenariuszu (szybko bogacącego się świata post-industrialnego, w którym przemysł ma mały udział w wytwarzaniu dochodu narodowego, a energia dzięki nowym technologiom jest oszczędnie zużywana i pochodzi głównie z „czystych” źródeł) temperatury podniosą się w zakresie 1,1–2,9°C. Jak widać, nawet w najkorzystniejszym z rozważanych wariantów można także oczekiwać pewnego ocieplenia. Wszystkie wymienione wyżej scenariusze zakładają brak skoordynowanej polityki klimatycznej w sensie światowej redukcji emisji. Jak pokazała Konferencja Stron Konwencji Klimatycznej COP 15 w Kopenhadze bardzo trudno (o ile to w ogóle możliwe) jest dojść do światowych ograniczeń emisji, których przestrzeganie można by egzekwować. Ponieważ globalny system klimatyczny cechuje się znaczną bezwładnością dwutlenek węgla, który już wprowadziliśmy i jeszcze wprowadzimy do atmosfery, będzie przez długie dekady wzmacniał efekt cieplarniany.

Dla terenu Polski projekcje przewidują do końca XXI wieku wzrost średniej rocznej temperatury powietrza o 3–3,5°C, wzrost temperatury w zimie o 3,5–5°C, a w lecie o 3–3,5°C.

Tendencja globalnego ocieplenia wydaje się przesądzona co najmniej przez kilkadziesiąt lat. Jeśli zdarzy się potężna erupcja wulkanu może nastąpić krótkotrwałe (kilokuletnie) ochłodzenie, ale potem temperatura będzie rosła dalej. Stężenie gazów cieplarnianych w atmosferze jest już bowiem wysokie, a – pomimo pewnych (mało skutecznych w skali światowej) prób ograniczenia emisji – końca wzrostu nie widać.

Wszystkie problemy związane z wodą można zaliczyć do trzech ogólnych kategorii: zbyt mało wody, zbyt dużo wody lub zanieczyszczenia wody. Obawiamy się wzrostu częstotliwości występowania wymienionych trzech kategorii problemów wodnych, a także ich dotkliwości i ostrości w zmieniającym się klimacie. Przewiduje się, że w cieplejszym świecie ekstrema hydrologiczne – susze i powodzie – mogą być coraz większe i coraz częstsze.

Na podstawie praw fizyki można orzec, że cieplejsza atmosfera jest zdolna pomieścić więcej wody. Wyższa zawartość pary wodnej w cieplejszej atmosferze prowadzi do wzrostu intensywnych opadów, które mogą spowodować powódź, erozję i osuwiska. Dodatkowo antropopresja ogranicza możliwość wsiąkania wody; nieprzepuszczalne są powierzchnie parkingów, dachów budynków, szos i chodników. Woda ma coraz mniej możliwości naturalnego magazynowania, gdyż wyeliminowano tereny podmokłe i retencję na terasach zalewowych. Ulewny opad odpływa do rzek, które też zostały przez człowieka zmodyfikowane – skrócone, wyprostowane i ograniczone

obwałowaniami. Efektem zmian samych rzek i zmian użytkowania terenów w zlewni jest coraz wyższy odpływ, szybszy i wyższy szczyt fali powodziowej będącej odpowiedzią systemu na intensywny opad. Straty powodziowe zależą od wielu czynników nie związanych z klimatem (np. wzrost liczby ludności, wzrost ekonomiczny, planowanie zagospodarowania przestrzennego, percepcja i świadomość ryzyka, kultura kompensacji, ubezpieczenia).

W wysokich szerokościach geograficznych i w części tropików modele klimatyczne zgodnie symulują kierunek przyszłych zmian opadu, przewidując jego wzrost. W niektórych obszarach podzwrotnikowych i w obszarach o średnich szerokościach (np. basen Morza Śródziemnego) modele klimatyczne również zgadzają się co do kierunku zmian, przewidując zmniejszanie się rocznej sumy opadów średnich. Między tymi strefami zgodnego wzrostu i zgodnego spadku opadów, na przykład w Europie środkowej, leżą obszary o znacznej niepewności projekcji, dla których symulacje z użyciem różnych modeli klimatycznych nie są zgodne nawet co do kierunku zmian.

Według modelowych projekcji zwiastujących wszechobecne ocieplenie tendencje do wzrostu poziomu mórz i do kurczenia się kriosfery będą się nasilać. Bardzo szybko będzie zmniejszać się powierzchnia lodowców – do końca XXI wieku może zniknąć zupełnie połowa lodowców alpejskich. Gdy zabraknie wody z topniejącego śniegu i lodu niskie stany wód staną się bardziej dotkliwe (9). Topnienie lodowców chwilowo poprawia dostępność wody: przepływy rzeczne rosą, ale maleje ilość wody w stanie stałym zgromadzona w tych wielkich lodowych i śnieżnych zbiornikach, które stworzyła natura. Kiedy jednak lodowce przestaną istnieć średnie przepływy rzeczne zmniejszą się, a ich rozkład sezonowy ulegnie dalszym niekorzystnym zmianom. Jest to o tyle niepokojące, że ponad miliard ludzi mieszka na terenach zasilanych przez wodę z topniejących śniegów i lodowców z wielkich łańcuchów górskich.

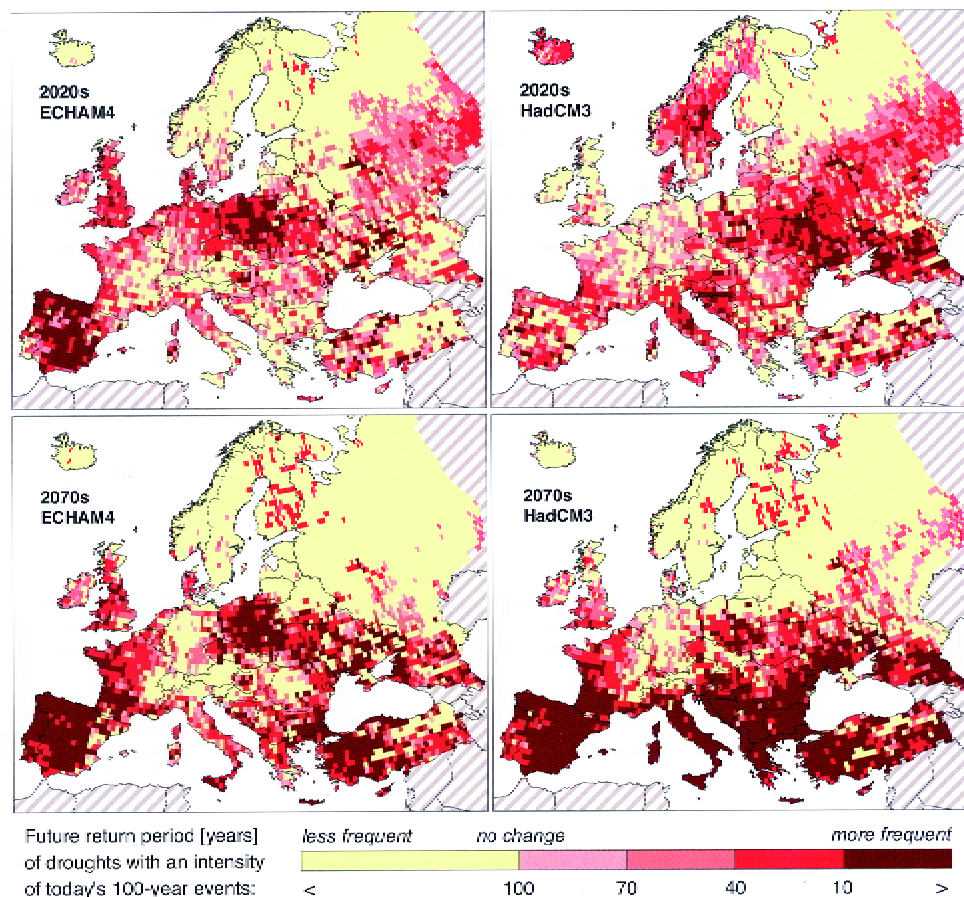
Projekcje zmian klimatycznych dla kontynentu europejskiego przewidują wszechobecne ocieplenie, którego wartość waha się od 0,2 do 0,6°C na dekadę, zależnie od przyjętego scenariusza. Projekcje wskazują również, że wzrosną różnice między coraz bardziej wilgotną północą i coraz bardziej suchym południem Europy, zwłaszcza w lecie.

Scenariusze zmian opadu w Polsce uzyskane za pomocą odmiennych modeli różnią się istotnie dla okresu letniego (czerwiec – sierpień). Wszystkie modele zgodnie przewidują wzrost temperatury, ale tylko niektóre wzrost opadów (inne spadek). Dla okresu zimowego (grudzień – luty) wszystkie rozważane modele zgodnie przewidują charakter (choć nie amplitudę) zmian – wzrost zarówno temperatury, jak i opadów.

Dla znacznego obszaru Europy częstość i amplituda intensywnych opadów i wywołanych przez nie powodzi mogą w przyszłości wzrosnąć. W wielu miejscach Europy modelowe projekcje zmian opadu średniego w lecie różnią się co do kierunku od projekcji zmian maksymalnego opadu 24-godzinnego. Nawet tam, gdzie maleje opad całkowity projekcje wskazują możliwość wzrostu zawartości pary wodnej w powietrzu i wzrost opadów intensywnych (11). Może to prowadzić do wzrostu zagrożenia powodziowego, erozji wodnej, osuwisk terenu, a także wzrostu presji na administrację i systemy osłony przeciwpowodziowej oraz systemy ubezpieczeń.

H i r a b a y a s h i i in. (2) badali zmianę częstości występowania wysokich przepływów. Przyjmując jako bazę poziom wody 100-letniej, odpowiadający okresowi kontrolnemu z lat 1961–1990, dokonali porównania średniego okresu przekroczenia tego poziomu dla horyzontu 2071–2100. Okazuje się, że dla części Europy przepływ, który uznano za wodę 100-letnią w okresie 1961–1990 będzie w przyszłości występował częściej (znaczna część Europy południowej, środkowej i zachodniej) lub rzadziej (Europa wschodnia i Skandynawia).

Susza stuletnia w Europie określona według kryteriów przyjętych dla okresu referencyjnego 1961–1990 będzie występowała częściej (kolory czerwone) lub rzadziej (kolor zielony) w przyszłości. Na rysunku 7 przedstawiono zmiany okresu powtarzalności w porównaniu z okresem kontrolnym dla dwóch horyzontów czasowych (lata 2020. i 2070.) i dla dwóch modeli (ECHAM4 i HadCM3).



Rys. 7. Zmiany częstości występowania obecnej suszy 100-letniej w Europie dla dwóch modeli (ECHAM4 i HadCM3) i dla dwóch horyzontów czasowych (lata 2020. i 2070.).

Kolor czerwony – wzrost częstości, kolor zielony – spadek częstości

Źródło: Lehner i in., 2005 (12).

Przewiduje się wzrost wysychania w okresach letnich, przede wszystkim w znacznej części obszarów położonych w średnich szerokościach geograficznych. Na podstawie projekcji klimatycznych w przyszłości należy się spodziewać zaostrenienia zjawisk związanych z niedostatkami wody, w tym wydłużenia okresów suchych (bez opadów lub z opadami znacznie poniżej wartości średnich), czy wydłużenia okresów suchych i jednocześnie gorących, co z uwagi na spotęgowane parowanie jeszcze bardziej przyspieszy wystąpienie stresu wodnego. Spodziewać się także możemy, że w przyszłości deficyty wodne występować będą na znacznie większych obszarach i będą bardziej intensywne. Według modelowych projekcji globalna powierzchnia terenów objętych silną suszą ulegnie znacznemu zwiększeniu: 10-, a nawet 30-krotnie do końca wieku. Wzrost ryzyka suszy prowadzić będzie do licznych negatywnych skutków, takich jak: obniżka plonów, wzrost ryzyka pożarów lasów, pogorszenie zaopatrzenia w wodę (w aspekcie ilości i jakości), szkody budowlane (wskutek kurczenia się i spękania gruntu).

Projekcje na przyszłość wskazują, że ekosystemy w Polsce poddane będą coraz większemu stresowi wodnemu z powodu czynników związanych z brakiem lub nadmiarem wody (susza, pożar lasu, intensywny opad, powódź) w połączeniu z czynnikami pozaklimatycznymi (antropopresja, zmiana użytkowania terenu, osuszenie terenów podmokłych, zanieczyszczenia, fragmentacja siedlisk, nadmierna eksploatacja). Jeśli w Polsce wzrośnie suchość okresów letnich, jeśli częściej będziemy wychodzić zimy bez wystarczającego zapasu wilgoci w glebie (jak w roku 2000), a brak wody wystąpi już wiosną, to wtedy wzrośnie zagrożenie erozją wietrzną.

Zmiana formy opadów zimowych (ze śniegu na deszcz) towarzysząca ociepleniu spowoduje zmniejszenie zimowej retencji w pokrywie śnieżnej i zmianę sezonowości przepływów w rzekach. Wzrośnie zimowy przepływ rzeczny, a pogłębią się niżówki (niskie przepływy w rzekach) w lecie i jesieni.

Na koniec XXI wieku przewiduje się wzrost poziomu morza o 18-59 cm powyżej poziomu z lat 1980–1999, w zależności od scenariusza. W ocenie tej nie jest uwzględnione radykalne przyspieszenie topnienia lądolodów Grenlandii i Antarktydy, które zdaniem większości ekspertów jest mało prawdopodobne w XXI wieku. Niektórzy eksperci kwestionują jednak powyższe oceny, sugerując możliwość znacznie wyższego wzrostu poziomu mórz już za kilkadziesiąt lat.

Istnieją także liczne przesłanki do stwierdzenia, że w wielu regionach globu niektóre zjawiska ekstremalne związane z pogodą (tak krótko- jak i długookresowe, np. fale upałów i susze, intensywne opady, powodzie i tropikalne cyklony) będą przybierały na sile i występowały częściej.

W przyszłości ekosystemy poddane będą coraz większemu stresowi z powodu zmian klimatu w połączeniu z innymi czynnikami związanymi z klimatem, takimi jak: ekstrema (intensywny opad, powódź, susza, pożar lasu) i pozaklimatycznymi (zmiana użytkowania terenu, zanieczyszczenie, fragmentacja, nadmierna eksploatacja). Według projekcji w ciągu XXI wieku globalna sekwestracja węgla przez ekosystemy lądowe osiągnie maksimum i zacznie się zmniejszać, wzmacniając zmiany klimatu.

Projekcje wskazują, że lekkie ocieplenie poprawiłoby plony w średnich i wysokich szerokościach geograficznych dzięki dłuższemu sezonowi wegetacyjnemu i łagodniejszym zimom. Niekorzystny wpływ na produkcję roślinną w południowej i wschodniej Europie może mieć jednak niedobór wody oraz skrócenie okresu wypełniania kłosów wielu roślin zbożowych (5). Rolnictwo wkroczy na nowe tereny. Na przykład zasięg uprawy pszenicy może się zwiększyć o duże obszary w Finlandii, Rosji, czy Kanadzie, na których obecnie panują jeszcze zbyt surowe warunki. Jednak w krajach rozwijających się położonych w niskich szerokościach geograficznych już małe ocieplenie spowoduje obniżkę plonów.

Przeciwdziałanie zmianom klimatu i adaptacja do nich

Prawdopodobieństwo niekorzystnych konsekwencji zmian klimatu rośnie wraz ze wzrostem szybkości i amplitudy zmian (17). Dlatego przy znacznym ociepleniu może nie wystarczyć adaptacja w reakcji na już zaistniałe skutki zmian klimatu. Potrzebna jest aktywna ochrona klimatu (poprzez redukcję emisji i zwiększanie możliwości wiązania dwutlenku węgla, np. przez odbudowanie szaty roślinnej Ziemi), aby negatywne konsekwencje zmian klimatu w przyszłości nie przekraczały możliwości adaptacji. Ponieważ jednak dalsze ocieplenie jest nieuchronne potrzebna będzie adaptacja do zmian. A więc na pytanie: przeciwdziałanie, czy adaptacja? Odpowiedź jest oczywista – jedno i drugie.

Wielu niekorzystnych konsekwencji można uniknąć, osłabić je, czy też opóźnić poprzez prowadzenie skutecznej polityki zapobiegania zmianom klimatu. Jeśli ocieplenia nie uda się ograniczyć, adaptacja do niekorzystnych skutków zmian klimatu może być bardzo trudna.

Przyjmując podczas tzw. Szczytu Ziemi w Rio de Janeiro w 1992 r. Ramową Konwencję Narodów Zjednoczonych dotyczącą Zmian Klimatu (UNFCCC), przywódcy państw zgodzili się, że trzeba podjąć wysiłki w celu uniknięcia „niebezpiecznego poziomu antropogenicznego wpływu na klimat” (Artykuł 2 Konwencji). Potrzebna jest więc stabilizacja stężeń gazów cieplarnianych na takim poziomie i w takim horyzoncie czasowym, żeby można było osiągnąć powyższy cel. Kryteria Artykułu 2 specyfikujące ryzyko niebezpiecznego poziomu antropogenicznego wpływu na klimat dotyczą przede wszystkim globalnego bezpieczeństwa żywnościowego, ochrony systemów unikalnych i zagrożonych (w tym ekosystemów), zrównoważonego rozwoju gospodarczego oraz ochrony przed zjawiskami ekstremalnymi. Ważnym elementem rzutującym na implementację artykułu 2 Konwencji jest znaczna niepewność w ocenie ryzyka i konsekwencji zmian klimatu oraz w ocenie skuteczności i kosztów działań, jakie można by podjąć.

Mimo intensywnych prób osiągnięcia porozumienia w sprawie redukcji emisji gazów cieplarnianych emisja tych gazów dalej rośnie. Na globalny efekt cieplarniany składają się: emisje gazów cieplarnianych w sektorze energetycznym (26%), przemysł (19%), wylesianie (17%), rolnictwo (14%), transport (13%), osadnictwo oraz sektor handlu i usług (8%), a także gospodarka odpadami (3%).

Kosztów zapobiegania ociepleniu nie da się uniknąć. Ale ekonomiści oceniają, że koszty zlekceważenia problemu będą wyższe niż koszty przeciwdziałania globalnemu ociepleniu. Koszty silnie zależą od zamierzonego poziomu stabilizacji dwutlenku węgla w atmosferze. Z obszernego studium podjętego w Wielkiej Brytanii (17) wynika, że roczne straty spowodowane zmianami klimatu wzrosną w XXI wieku do co najmniej 5% produktu światowego brutto, a przy uwzględnieniu szerszego wachlarza skutków i mniej prawdopodobnych wariantów nawet do 20% i więcej. Natomiast koszt redukcji gazów cieplarnianych (nie pozwalającej na wzrost stężeń ponad 450-550 ppm CO₂-eq), tzn. umożliwiającej uniknięcie najgorszych skutków zmian klimatu wyniesie około 1% produktu światowego. Znaczna redukcja emisji winna nastąpić w ciągu najbliższych 10-20 lat. Jeśli tak się nie stanie późniejsza redukcja musiałaby być znacznie ostrzejsza, a więc bardziej kosztowna.

Ambitnym (acz mało realnym) celem w zakresie przeciwdziałania globalnemu ociepleniu przyjętym przez Unię Europejską jest ograniczenie ocieplenia do co najwyżej 2°C w horyzoncie roku 2100 w porównaniu z okresem przedprzemysłowym (czyli o co najwyżej 1,5°C w porównaniu ze stanem z okresu 1980–1999). Aby to osiągnąć potrzeba znacznego globalnego ograniczenia emisji gazów cieplarnianych (atmosferyczne stężenie nie powinno przekroczyć 450 ppm CO₂-eq.), a to byłoby bardzo trudne i drogie. Obecnie stężenie (po wygładzeniu wahań sezonowych) sięga 383 ppm i szybko rośnie. Unia Europejska forsuje koncepcję 3 x 20, tzn. do roku 2020 redukcję emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 20% (w porównaniu ze stanem z roku 1990) oraz uzyskanie co najmniej 20% energii ze źródeł odnawialnych.

Unia Europejska przoduje w inicjatywach podejmowanych na rzecz przeciwdziałania zmianom klimatu. W porównaniu z innymi kontynentami Europa ma mało paliw kopalnych, a jej mieszkańcy żyją na ogół we względnym dostatku i bezpieczeństwie i bardzo cenią ten stan. Niekorzystne zmiany klimatu, w tym wzrost dolegliwości ekstremów klimatycznych, są niemiłą perspektywą, którą Europejczycy chcieliby odsunąć. Poza tym, właśnie w Europie powszechne jest przyjęcie strategii trwałego i zrównoważonego rozwoju – myślenie o dalszej przyszłości. Mówi się, że odziedziczyliśmy środowisko od pokolenia naszych rodziców, ale można też spojrzeć inaczej, że „wypozyczamy” je od pokolenia naszych dzieci czy wnuków.

Do atmosfery dostaje się za dużo dwutlenku węgla i metanu. Trzeba podjąć starania, żeby gazów tych było w atmosferze mniej, a nie coraz więcej. Potrzebne jest skoordynowane i globalne działanie w kierunku powstrzymania intensyfikacji efektu cieplarnianego spowodowanego w znacznej mierze wzrostem spalania węgla, ropy i gazu, a także wylesieniem. Potrzebne są zharmonizowane działania globalne i to we wszystkich sektorach, a w szczególności w tych, które są w wysokim stopniu odpowiedzialne za znaczną emisję gazów cieplarnianych, tj. energetyka i rolnictwo (dotyczy metanu i podtlenku azotu), transport, osadnictwo, sektor handlu i usług, gospodarka odpadami. Ważna jest także dbałość o wiązanie (sekwestrację) dwutlenku węgla poprzez odpowiednie kształtowanie użytkowania terenu, w tym zapobieganie wylesianiu i zalesianie (poprawiające bilans wiązania dwutlenku węgla przez rośliny).

W niektórych przypadkach środek korzystny dla ochrony klimatu nie jest korzystny z punktu widzenia adaptacji do zmian klimatu i na odwrót. Takie elementy adaptacji, jak: odsalanie wody dla zwiększenia dyspozycyjnych zasobów wody słodkiej, pompowanie głębokiej wody gruntowej, czy klimatyzacja łagodząca zdrowotne skutki fal upałów nie są korzystne dla przeciwdziałania ociepleniu. Wraz z globalnym ociepleniem przybliża się perspektywa spędzania lata w klimatyzowanym domu i w klimatyzowanym miejscu pracy. Klimatyzacja wymaga jednak użycia znacznych ilości energii, a więc „nakręca” efekt cieplarniany, wzmacniając ocieplenie.

Wzrost lesistości przyczynia się do intensyfikacji ewapotranspiracji, a to powoduje intensyfikację cyklu wodnego i wzrost opadów w skali regionalnej. W efekcie wzrost lesistości poprawia bilans wodny. „Wielka” retencja wody (np. zapory i zbiorniki wodne) jest korzystna zarówno dla adaptacji, jak i ochrony klimatu. Istnieją jednak inne aspekty ograniczające stosowalność tego rozwiązania (wyłączenie obszarów spod uprawy rolnej, konsekwencje ekologiczne, uniemożliwienie migracji ryb, konieczność przesiedlenia ludności).

Podsumowanie

Nie ulega wątpliwości, że w ostatnim 50-leciu występuje ocieplenie klimatu, a wytłumaczyć je można przede wszystkim wywołanym przez ludzi wzrostem emisji gazów cieplarnianych i redukcją zdolności wiązania węgla przez roślinność wskutek wylesienia, jak również pogorszeniem struktury bilansu cieplnego przypowierzchniowych warstw atmosfery ziemskiej. W efekcie rośnie stężenie atmosferyczne gazów cieplarnianych, które powoduje intensyfikację efektu cieplarnianego.

Projekcje na przyszłość przewidują dalsze, jeszcze bardziej intensywne i nieuniknione, ocieplenie. Można je jednak ograniczyć przez skuteczne i zharmonizowane działania w skali globalnej. Dalsze ocieplenie zależy od tego, jaki scenariusz rozwoju społeczno-ekonomicznego i polityki przeciwdziałania ociepleniu zostanie zrealizowany.

Globalne zmiany klimatu powodują zmiany zarówno korzystne, jak i niekorzystne we wszystkich regionach świata i we wszystkich sektorach i systemach. Jednak ich zaistnienie i ostrość zależą od scenariusza rozwoju społeczno-ekonomicznego, który ma wpływ na emisję oraz od realizowanej polityki przeciwdziałania zmianom klimatu.

Polska jest i pozostanie blisko końca listy państw europejskich pod względem zasobów wodnych. Niski jest średni opad i odpływ rzeczny oraz zasoby wodne na głowę mieszkańca. Obserwujemy przesuszenie środowiska na Niżu Polskim – deficyty wody w glebie, serie lat suchych i wysychanie małych cieków oraz zbiorników. Czynniki, które spowodowały tę sytuację są: wzrost temperatury, wylesienie pasa centralnego, zmniejszenie zawartości materii organicznej w glebie i pogorszenie struktury gleby, spadek małej retencji powierzchniowej (np. śródpolnych zbiorników), melioracje odwadniające oraz (ogólnie) uproszczenie struktury krajobrazu. Wzrost lesistości powoduje intensyfikację ewapotranspiracji, ale to powoduje intensyfikację cyklu wodnego i wzrost opadów w skali regionalnej. W efekcie wzrost lesistości poprawia bilans wodny gleby.

Polska na pewno nie będzie wielkim przegranym w zmieniającym się klimacie, jednak problemy z wodą już istniejące w obecnym klimacie prawdopodobnie nasilą się. Projekcje wskazują na wzrost zagrożenia ekstremami wodnymi (suszami i powodziami, szczególnie typu opadowego), co będzie stanowić wyzwanie dla gospodarki wodnej.

Strategia gospodarki wodnej na obszarach rolniczych wymaga podjęcia następujących kroków, które mogą zwiększyć ilość wody w krajobrazie, wydłużyć czas jej przebywania i zwiększyć intensywność jej obiegu (6):

- zwiększenie małej retencji poprzez odbudowę zniszczonych małych zbiorników wodnych i poprawę struktury gleby;
- zwiększenie zawartości materii organicznej w glebach dla zwiększenia ich zdolności retencyjnych;
- odpowiednie kształtowanie szaty roślinnej prowadzące do zwiększenia infiltracji, a zmniejszenia spływu powierzchniowego i parowania potencjalnego;
- wyhodowania bardziej wodooszczędnych odmian roślin uprawnych.

Rolnictwo zależy od klimatu, ale też wpływa na klimat. W obszarze zmian klimatu pełni więc różnorakie role: ofiary, beneficjenta, winowajcy i sprzymierzeńca w przeciwdziałaniu zmianom.

Literatura

1. Dai A., Trenberth K. E., Qian T.: A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming. *J. Hydrometeorology*, 2004, **5**: 1117–1130.
2. Hirabayashi Y., Kanae S., Emori S., Oki T., Kimoto M.: Global projections of changing risks of floods and droughts in a changing climate. *Hydrol. Sci. J.*, 2008, 53(4):754–773.
3. IPCC. Synthesis report. In: *Climate change 2001*. Eds. Watson R. T. & Core Writing Team. Cambridge University Press, Cambridge, 2001, 35–145.
4. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Summary for policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Eds. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M., Miller H. L. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>
5. Kędziora A.: Zmiany środowiskowe warunków życia człowieka na początku XXI wieku – prognoza ostrzegawcza, zmiany klimatyczne. *Nauka*, 1994, **2**: 85–120.
6. Kędziora A., Olejnik J.: Water balance in agricultural landscape and options for its management by change of plant cover structure of landscape. In: *Landscape Ecology in Agroecosystems Management*. Ed. L. Ryszkowski. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C., 2002, 57–110.
7. Kędziora A., Ryszkowski L.: Ocena wpływu struktury krajobrazu na bilans cieplny i wodny zlewni wraz z określeniem jej modyfikującej roli dla efektów zmian klimatycznych. W: *Funkcjonowanie geosystemów w zróżnicowanych warunkach klimatycznych – monitoring, ochrona, edukacja*. Wyd. Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, Poznań, 2001, 202–223.
8. Kundzewicz Z. W., Gerstengarbe F. W., Österle H., Werner P. C., Fricke W.: Recent anomalies of mean temperature of 12 consecutive months – Germany, Europe, Northern Hemisphere. *Theor. and Applied Climatol.*, 2009, 95, 417–422. DOI 10.1007/s00704-008-0013-9.

9. Kundzewicz Z. W., Kowalczak P.: Zmiany klimatu i ich skutki. Wyd. Kurpisz SA, Poznań, 2008, ss. 214.
10. Kundzewicz Z. W., Mata L. J., Arnell N., Döll P., Kabat P., Jiménez B., Miller K., Oki T., Sen Z., Shiklomanov I.: Freshwater resources and their management. In: Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., Hanson C. E., van der Linden P. J. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007.
11. Kundzewicz Z. W., Radziejewski M., Pińskwar I.: Precipitation extremes in the changing climate of Europe. *Clim. Res.*, 2006, **31**: 51-58.
12. Lehner B., Döll P., Alcamo J., Henrichs T., Kaspar F.: Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. *Climatic Change*, 2006, **75**: 273-299.
13. Lemke P., Ren J., Alley R. B., Allison I., Carrasco J., Flato G., Fujii Y., Kaser G., Mote P., Thomas R. H., Zhang T.: Observations: changes in snow, ice and frozen ground. In: Climate change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M., Miller H. L. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter4.pdf>
14. Mills E.: Insurance in a climate of change. *Science*, 2005, **309**: 1040-1044.
15. Parry M. L. (Ed.): Assessment of the potential effects and adaptations for climate change in Europe: The Europe ACACIA Project. Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, UK, 2000, pp. 320.
16. Pińskwar I.: Projekcje zmian w ekstremach opadowych w Polsce. Praca doktorska. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydz. Melioracji i Inżynierii Środowiska, 2009, ss. 170.
17. Stern N.: The economics of climate change (The Stern Review). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007, pp. 692, por www.sternreview.org.uk

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Zbigniew W. Kundzewicz
Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN
ul. Bukowska 19
60-809 Poznań
tel.: (61) 847-56-01
e-mail: kundzewicz@yahoo.com
kedan@man.poznan.pl

**Jerzy Kozyra, Anna Nieróbca, Katarzyna Mizak, Rafał Pudelko,
Magdalena Borzęcka-Walker, Antoni Faber, Andrzej Doroszewski**

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

ZMIANA KLIMATU – NOWE WYZWANIA DLA ROLNICTWA*

Wobec globalnego ocieplenia, które jest przyczyną obserwowanych w ostatnich latach zmian w klimacie (1) podejmowane są dwa rodzaje działań zmierzających do: ograniczenia procesu globalnego ocieplenia (działania mitygacyjne) oraz dostosowania poszczególnych działów gospodarki do nowych warunków klimatycznych (działania adaptacyjne). Działania te są prowadzone na poziomie poszczególnych krajów w ramach porozumień międzynarodowych (Protokół z Kioto) lub regionalnych (np. Unia Europejska). Na Konferencji Narodów Zjednoczonych w 2009 roku w Kopenhadze zadeklarowano podjęcie działań na rzecz ograniczenia globalnego ocieplenia do 2°C w stosunku do okresu sprzed rozwoju przemysłu. Unia Europejska w zakresie łagodzenia zmian klimatu zobowiązała się do 2020 roku zredukować emisję gazów cieplarnianych o 20% w stosunku do jej stanu z roku 1990. Cel ten ma być zrealizowany poprzez zwiększenie efektywności energetycznej gospodarki o 20% oraz zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych o 20%. W przypadku przystąpienia do porozumienia światowego o redukcji emisji gazów cieplarnianych największych państw uprzemysłowionych UE zadeklarowała, że zwiększy cel redukcyjny z 20 do 30% (13). W sektorze rolnictwa ograniczenie emisji w UE ma wynieść 10% (4). Jednocześnie proponuje się, żeby rolnictwo obok produkcji żywności dostarczało dla energetyki tzw. paliwa alternatywne, co może mieć wpływ na strukturę produkcji (14). Działania adaptacyjne wobec zmian klimatu w większości krajów europejskich są w fazie planowania strategii, głównie na poziomie identyfikacji potrzeb adaptacyjnych (12). Nowe uwarunkowania rozwoju związane z regulacjami dotyczącymi polityki klimatycznej stanowią zupełnie nowe wyzwania dla rolnictwa. Odpowiednia identyfikacja potrzeb w zakresie adaptacji do obserwowanej zmiany klimatu, jak również możliwości mitygacji globalnego ocieplenia przez rolnictwo, może stać się jednym z głównych uwarunkowań dalszego jego rozwoju. Ocena możliwości polskiego rolnictwa w tym zakresie jest tym istotniejsza, że decyzja Parlamentu Europejskiego dopuszcza zróżnicowanie celów emisyjnych ze względu na konieczność zapewnienia zrównoważonego rozwoju krajom członkowskim, w których PKB jest stosunkowo niski (4).

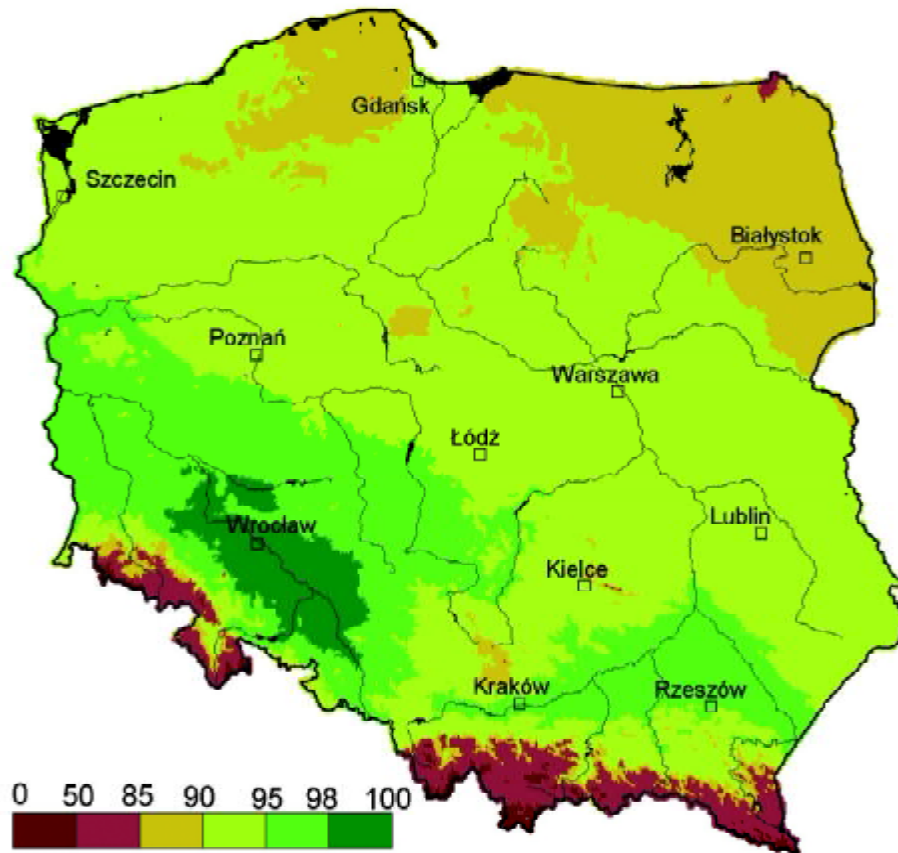
* Opracowanie wykonano w ramach zadania statutowego IUNG-PIB 4.1 i Akcji COST 734

Celem pracy była analiza uwarunkowań wynikających z polityki klimatycznej oraz obserwowanej w XX wieku zmiany klimatu, jako nowych wyzwań dla rozwoju rolnictwa w Polsce.

Ocena agroklimatu Polski

Jednym ze wskaźników oceny warunków agroklimatycznych w Polsce jest wskaźnik agroklimatu (8, 28). Wskaźnik ten opracowano, wykorzystując wieloletnie dane statystyczne o plonach i wyniki doświadczeń polowych, opisując plony w funkcji elementów meteorologicznych. Według wskaźnika agroklimatu wyrażonego w skali względnej (100 pkt.) najkorzystniejsze warunki klimatyczne dla rolnictwa w Polsce występują na Dolnym Śląsku i pogarszają się w kierunku północno-wschodnim, gdzie wskaźnik agroklimatu osiąga wartości zbliżone do 85 pkt. Według przyjętych przy konstrukcji wskaźnika agroklimatu założeń zróżnicowanie efektów klimatycznych dla rolnictwa w Polsce nie jest duże, bo wynosi tylko 15 pkt. (poza górami, gdzie wskaźnik osiąga wartości zbliżone do 0 pkt.); (rys. 1). Wiąże się to między innymi z regionalnym dostosowaniem produkcji (zróżnicowanie upraw, odmian) do lokalnych warunków klimatycznych. W przypadku wieloletnich plonów pszenicy ozimej w Polsce zróżnicowanie warunków agroklimatycznych wyrażone wahaniami średnich plonów jest jeszcze mniejsze, bo wynosi 10%. Cechą charakterystyczną klimatu Polski jest jednocześnie większa zmienność plonów w latach niż zróżnicowanie regionalne (10). Wobec prognoz zmian klimatu mówiących o wzrastającej zmienności warunków pogodowych z roku na rok (1), to właśnie ta cecha klimatu Polski powinna być szczególnie ważna przy planowaniu strategii adaptacyjnej w rolnictwie. Pewnym sygnałem większych niż dotychczas wahań plonowania w Polsce może być stwierdzona w ostatnich latach większa liczba susz oraz zjawisk ekstremalnych (9). W latach 1957–1980 znaczne straty plonów w produkcji krajowej z powodu suszy, przekraczające 15%, stwierdzono w 2 latach, natomiast w okresie 1990–2007 spadki plonów z powodu suszy odnotowano 5 razy. Równocześnie w okresie 1990–2007 w 3 przypadkach stwierdzono straty plonów z powodu niekorzystnych warunków zimowania (14).

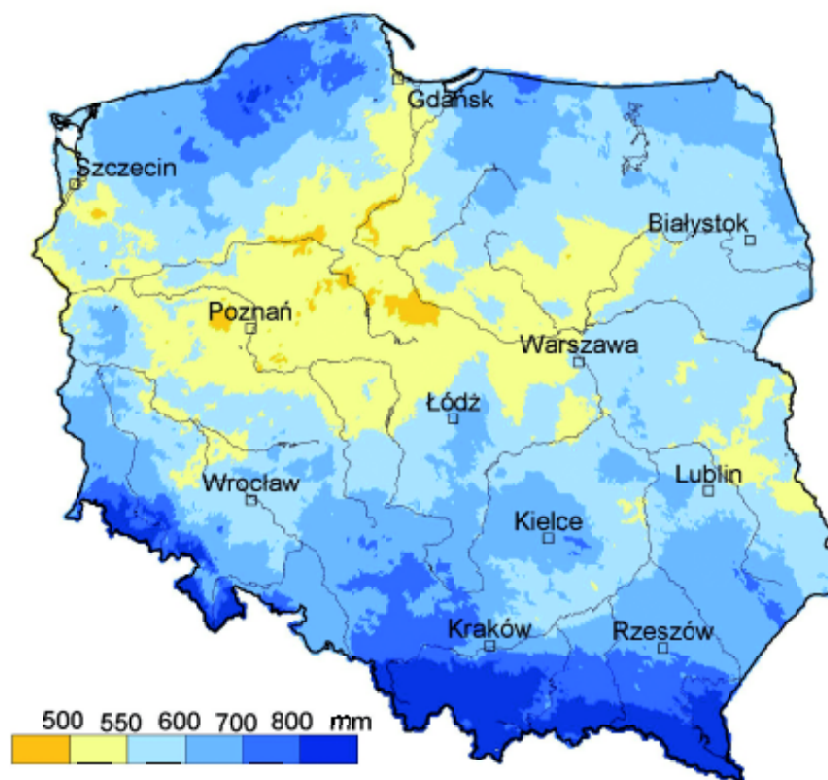
W prognozach zmian klimatu wskazuje się na możliwy wzrost średniej rocznej temperatury powietrza do końca XXI wieku o około 3°C (12). Spowoduje to przyspieszenie tempa rozwoju roślin, co ma szczególne znaczenie dla roślin ciepłolubnych (kukurydza, soja, proso, słonecznik), które już w obecnych warunkach klimatycznych mogą dojrzewać na znacznie większym obszarze Polski niż to było wcześniej. W ubiegłych latach uprawa kukurydzy na ziarno była ograniczona tylko do cieplejszych regionów Polski (Dolny Śląsk i Kotliną Sandomierską). Prawdopodobieństwo dojrzewania średnio wczesnej kukurydzy FAO 270 w tych rejonach w latach 1941–1990 przekraczało 80%, natomiast na północ od linii Szczecin – Białystok było mniejsze niż 20%. Z przeprowadzonych analiz wynika, że w latach 2001–2010 prawdopodobieństwo dojrzewania kukurydzy w centralnej Polsce wyraźnie przekroczy 80% (15). Oznacza to również, że zmniejszą się ograniczenia w uprawie innych roślin ciepłolubnych,



Rys. 1. Wskaźnik bonitacji agroklimatycznej Polski w skali względnej
Źródło: Górski, Zaliwski, 2002 (11), opracowanie mapy: Górski i Kozyra.

takich jak: soja, proso, słonecznik, winorośl, sorgo. Wzrost temperatury wpływa nie tylko na przyspieszenie tempa rozwoju roślin uprawnych, ale również chwastów i szkodników, których uciążliwość dla rolnictwa znacznie wzrośnie. Jednocześnie łagodne zimy i wyższa temperatura podczas wiosny i lata sprzyjają rozwojowi szkodników roślin uprawnych. Obserwuje się w ostatnich latach w Polsce wzrost populacji chwastów ciepłolubnych oraz lepsze przetrzymywanie gatunków dotychczas bardzo słabo zimujących, takich jak przytulia czepna i przetacznik perski. Dużym problemem staje się zwalczanie chwastów w zasiewach kukurydzy w przypadku chłódów majowych i przy niskim uwilgotnieniu gleby (6). W uprawach pojawiają się szkodniki, które dotychczas nie miały większego znaczenia gospodarczego. Ekonomiczne istotne straty w plonach w uprawie kukurydzy zaczyna powodować stonka kukurydziana oraz omacnica prosowianka, dotychczas w małym zakresie uwzględniana w programach ochrony roślin (19).

Należy podkreślić, że w warunkach ocieplenia zwiększy się liczba dni ze stresem wodnym i termicznym dla roślin podczas sezonu wegetacyjnego (27). Dlatego w ocenie ryzyka plonowania roślin w Polsce należy obecnie zwrócić większą uwagę na rozkład opadów atmosferycznych kształtujących warunki wodne gleb (rys. 2). W centralnej Polsce, gdzie dotychczas uzyskuje się najlepsze wyniki produkcyjne przy niekorzystnych warunkach opadowych skutki wzrostu temperatury i sum ewapotranspiracji, nawet przy prognozowanych wyższych opadach w zimie (18) mogą stać się znaczącym problemem dla rolnictwa (7).



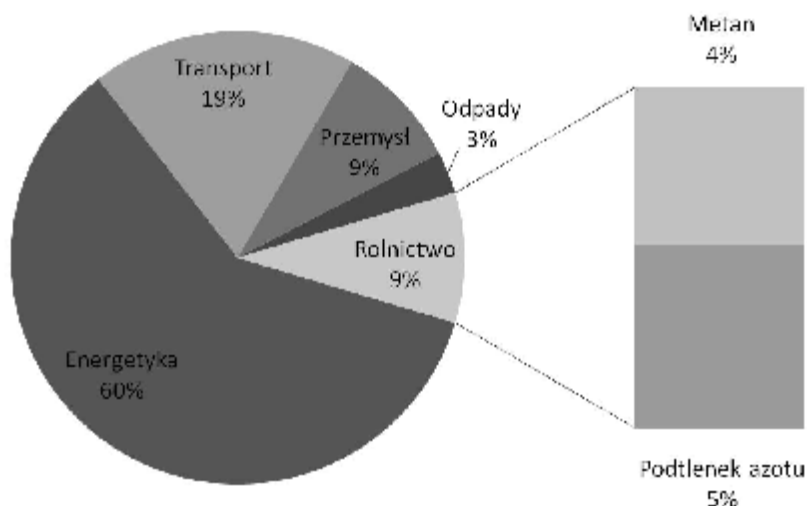
Rys. 2. Suma roczna opadu atmosferycznego w Polsce

Źródło: Górski i Zaliwski, 2002 (11), opracowanie mapy Kozyra, 2006 (17).

Cele mitygacyjne rolnictwa

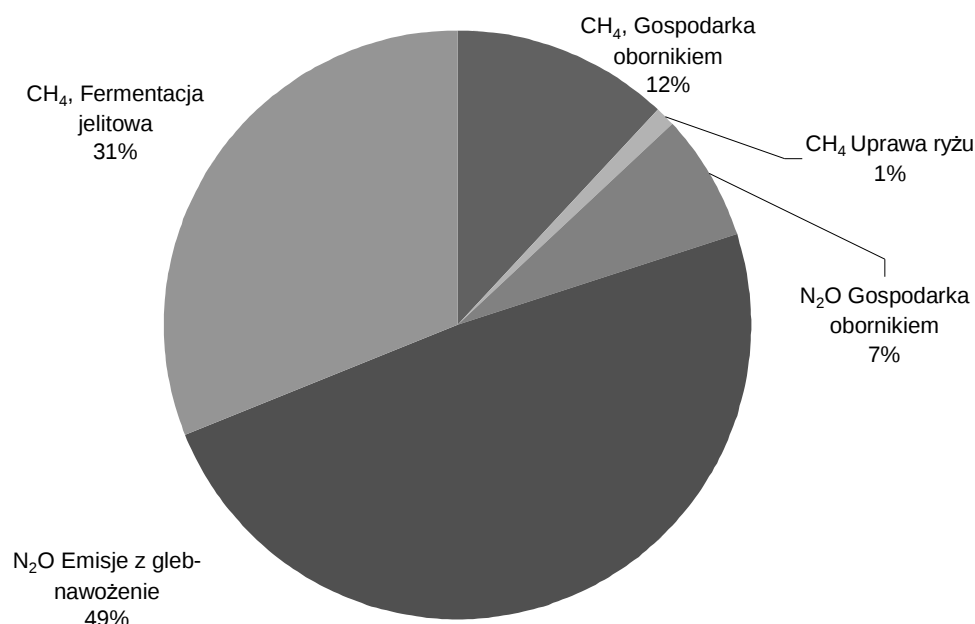
Działania światowe mające na celu zapobieganie procesowi antropogenicznego globalnego ocieplenia wprowadzają instrumenty polityczne obligujące poszczególne kraje do działań ograniczających zużycie paliw kopalnych oraz promowania energooszczędnych metod produkcji. Rolnictwo jako jeden z działów gospodarki ma również włączyć się do programów zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych do atmosfery.

Skala tych działań powinna wynikać z możliwości redukcji w poszczególnych sektorach rolnictwa przy zachowaniu możliwości dalszego zrównoważonego rozwoju (4). W skali globalnej udział rolnictwa w procesie antropogenicznego efektu cieplarnianego wynosi 13,5%, w Europie jest to odpowiednio 9,2% (rys. 3), a w Polsce 9% (24). W szacunkach wykorzystano tzw. równoważnik dwutlenku węgla, który wyraża efekt poszczególnych gazów cieplarnianych w wielkości powodowanego ocieplenia. Duży udział rolnictwa w ogólnej emisji wynika z faktu, że gazami cieplarnianymi pochodzącymi z rolnictwa są głównie metan i podtlenek azotu. Gazy te mają dużo większy potencjał w wywoływaniu efektu cieplarnianego niż dwutlenek węgla. Emisje podtlenku azotu (rys. 4) należy wiązać z gospodarką na użytkach rolnych, ponieważ są pochodną emisji z gleb powstałych w wyniku nawożenia mineralnego (43%) oraz z gospodarką obornikiem (7%). Natomiast emisja metanu jest pochodną procesów fermentacji jelitowej u bydła (31%) oraz gospodarki obornikiem (12%). Przyjmuje się, że przy zrównoważonym gospodarowaniu nie zachodzi uwalnianie dwutlenku węgla z gleby, natomiast powstające emisje w wyniku spalania paliw kopalnych (olej napędowy) wlicza się do emisji powstałych w transporcie oraz produkcji energii i stanowi to 1% (24). Jak wynika z powyższych danych strategię ograniczania emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa powinny dotyczyć metanu oraz podtlenku azotu i związane są głównie z produkcją zwierzęcą oraz gospodarką nawozową. Ograniczenie nawożenia lub zużycia innych środków produkcji w wyniku zastosowania innowacji w rol-



Rys. 3. Emisje gazów cieplarnianych w UE według sektorów wyrażone w ekwiwalencie dwutlenku węgla

Źródło: SEC (2009) 1093 (24), opracowanie własne.

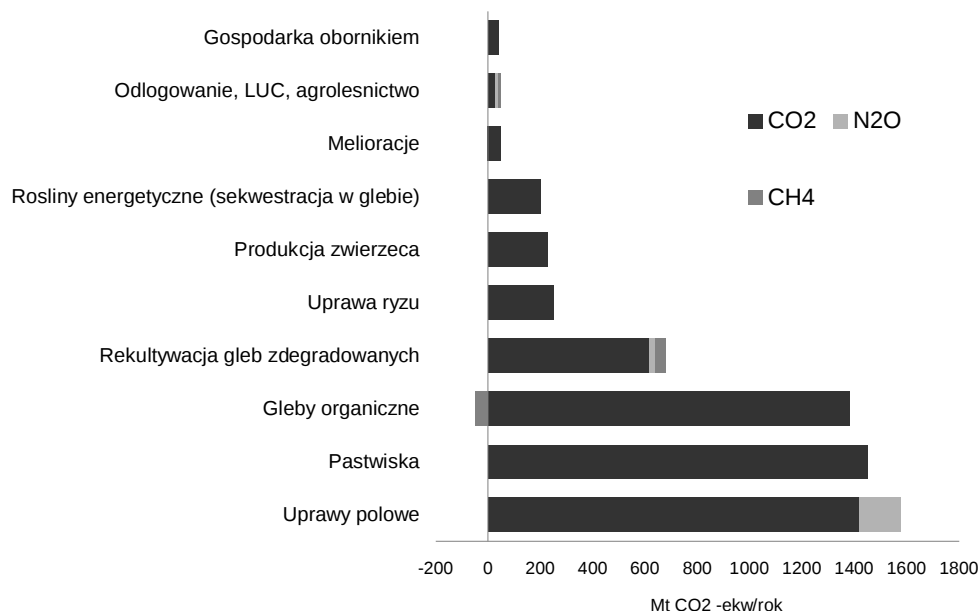


Rys. 4. Źródła emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa w Europie – EU27

Źródło: SEC (2009) 1093 (24), opracowanie własne.

nictwie (np. komputerowe systemy wspomagania decyzji) może mieć również pośredni wpływ na ograniczenie zużycia innych środków produkcji (np. oleju napędowego przez maszyny rolnicze).

Działania mitygacyjne, obok ograniczania dotychczasowych emisji, mają również za cel wychwytywanie (sekwestrację) gazów cieplarnianych z atmosfery, szczególnie dwutlenku węgla. W tym zakresie rolnictwo ma duży potencjał ze względu na możliwości wiązania węgla przez glebę. Należy podkreślić, że węgiel w postaci materii organicznej zmagazynowany w glebie stanowi drugi co do wielkości, po oceanach, rezerwuár na Ziemi. Niewłaściwe gospodarowanie w rolnictwie, np. przez nadmierne odwodnienie gleb lub niezrównoważoną produkcję może prowadzić do znaczącej jego emisji (16). Jak wynika z analiz IPCC (26) w skali globalnej duży potencjał mitygacyjny posiada gospodarowanie na pastwiskach i użytkach rolnych oraz glebach organicznych i w tych obszarach rolnictwa należy poszukiwać stosownych innowacji zapobiegających emisji, jak również zwiększających stopień wiązania węgla (rys. 5). Znaczący potencjał sekwestracyjny ma również uprawa wieloletnich roślin energetycznych, które podobnie jak użytki zielone przyczyniają się do wiązania węgla w glebie (26). Do większej sekwestracji węgla może przyczynić się również poprawa systemów melioracji gleb, ponieważ gleby bardziej nawodnione mają większą zdolność wiązania węgla, a nadmierne przesuszenie powoduje utratę materii organicznej (16). Istnieje również pewien potencjał rolnictwa (rys. 5) w zakresie ograniczenia emisji podtlenku azo-



Rys. 5. Globalny techniczny potencjał mitygacyjny dwutlenku węgla (CO₂), metanu (CH₄) i podtlenku azotu (N₂O) z rolnictwa do roku 2030. Symulacja wykonana dla scenariusza B2 z Czwartego Raportu IPCC. Skrót: LUC = zmiany użytkowania gruntów
Źródło: Smith i in., 2007 (26).

tu z gospodarowania na użytkach rolnych, związany z ograniczeniem nadmiernego lub nieefektywnego nawożenia. Natomiast działania zmierzające do zwiększenia wiązania węgla w glebach organicznych mogą doprowadzić do uruchomienia emisji z tych gleb podtlenku azotu. W zakresie emisji metanu innowacje w rolnictwie powinny dotyczyć przede wszystkim uprawy ryżu (nie dotyczy Polski), produkcji zwierzęcej i gospodarki obornikiem. Powyższe ustalenia mogą się jednak różnić przy uwzględnieniu specyfiki polskiego rolnictwa, dlatego podobna analiza powinna być wykonana przed wytyczaniem celów emisyjnych dla rolnictwa w Polsce.

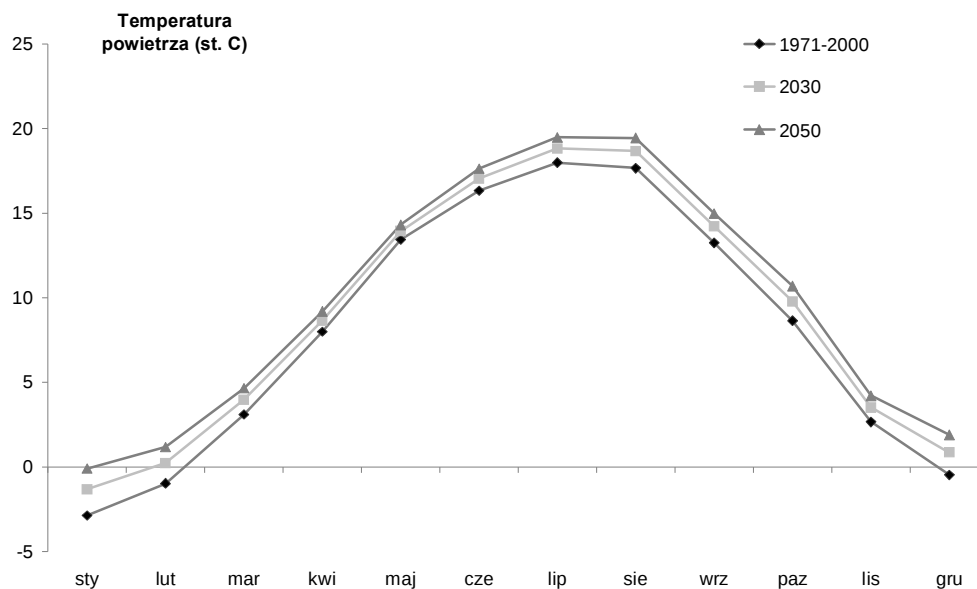
Cele adaptacyjne rolnictwa

Celem adaptacji rolnictwa wobec zmiany klimatu powinno być ograniczenie powstających zagrożeń i szkód oraz wykorzystanie wynikających z tego procesu ewentualnych korzyści (3). Potrzeby adaptacyjne rolnictwa wobec zmian klimatycznych nie są łatwe do sprecyzowania, co wiąże się z szybkim postępem w zakresie wprowadzania do praktyki nowych środków produkcji oraz odmian roślin uprawnych (2). Dynamiczne zmiany w produkcji sprawiają, że rolnictwo na bieżąco dostosowuje się do obserwowanych zmian klimatu, a proces ten odbywa się w sposób autonomiczny, np. przez zmianę terminów prac polowych (21). Duże wahania warunków pogodowych w ostatnich latach, będące wynikiem globalnego ocieplenia, zmuszają rolników

do poszukiwania nowych rozwiązań w zakresie agrotechniki. Realizacja tych wyzwań jest możliwa przy odpowiednim poziomie dochodów gospodarstwa, niezależnym od warunków pogodowych, które w pewnym stopniu zabezpiecza w Europie Wspólna Polityka Rolna (12). Stabilne dochody rolników w warunkach większego ryzyka występowania zjawisk ekstremalnych zapewniają ciągłość produkcji w gospodarstwie, a tym samym mogą przyczyniać się do utrzymania dotychczasowych form użytkowania gruntów. Wobec postulatu, że działania adaptacyjne zachodzą głównie na poziomie gospodarstwa zadaniem państwa powinno być zapewnienie stabilności dochodów rolniczych oraz ułatwienie zbycia płodów rolnych. Istnieje potrzeba prowadzenia szkoleń o zachodzących zmianach w klimacie i potrzebnych z tego względu zmianach w gospodarowaniu (23). Na podstawie oceny potrzeb adaptacyjnych w województwie podlaskim nakreślono skalę działań w zakresie adaptacji rolnictwa w Polsce. W monografii podsumowującej prace autorzy zaznaczają, że przy dostosowaniu produkcji do zmieniających się warunków klimatycznych przeciętne plony w województwie podlaskim nie zmieniają się znacząco do połowy XXI wieku. Na uwagę zasługuje szczególnie prognoza dotycząca stopniowego pogarszania się warunków dla uprawy kukurydzy w Polsce, chociaż wcześniejsze prognozy jej produkcji na ziarno, ze względu na wzrost zasobów ciepła, były optymistyczne (23). Pogorszenie warunków dla produkcji kukurydzy według przyjętych scenariuszy zmian klimatu wynika ze znacznego spadku sum opadów atmosferycznych w lipcu i sierpniu, kiedy roślina ta znajduje się w decydującym etapie tworzenia plonu (20).

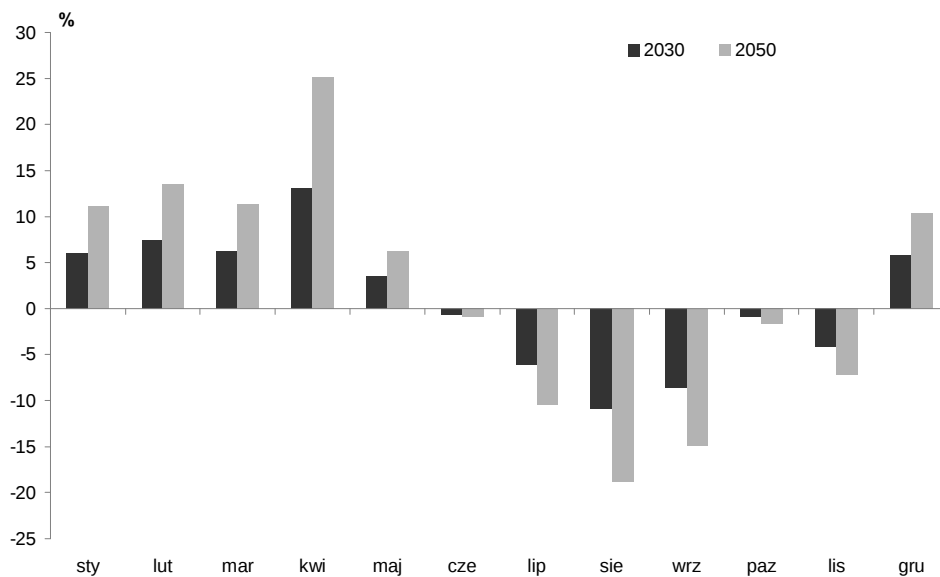
Istnieje potrzeba prowadzenia prac z wykorzystaniem najnowszych scenariuszy zmian klimatu, na podstawie których można kształtować pogląd o potrzebach w zakresie adaptacji. Analizy takie zostały wykonane między innymi w ramach prac akcji COST 734, dotyczącej oceny wpływu zmian klimatu i jego zmienności na rolnictwo w Europie (22). W programie tym opracowano scenariusze zmian klimatu dla Rolniczego Zakładu Doświadczalnego IUNG-PIB w Grabowie na podstawie danych z działającej tam stacji meteorologicznej (gmina Zwoleń, woj. mazowieckie). Przy założeniu, że emisje z działalności człowieka będą utrzymywały się na podobnym poziomie średnia roczna temperatura do 2030 r. w Grabowie wzrośnie o kolejny 1°C, natomiast do 2050 roku o 1,5°C w stosunku do średniej z lat 1971–2000 (rys. 6). Z prognozy normy klimatycznej na rok 2030 wynika, że o około 1,5°C będzie wyższa średnia temperatura miesięcy zimowych i letnich. Najmniejszy wzrost średniej temperatury oszacowano w maju, który wyniósł 0,8°C. Według scenariusza zmian temperatury na rok 2050 o około 2,5°C będą cieplejsze miesiące zimowe i w tej perspektywie tylko styczeń miałby średnią temperaturę powietrza poniżej 0°C (-0,1°C).

Scenariusze dotyczące opadów atmosferycznych nie przewidują znaczących zmian sumy rocznej opadu, natomiast będą zmiany w rozkładzie sum opadu w poszczególnych miesiącach (rys. 7). W stosunku do lat 1971–2000 w perspektywie normy na 2050 rok suma opadów może np. w kwietniu wzrosnąć nawet o 25%. W tej samej perspektywie czasowej scenariusze zmian klimatu przewidują spadek średnich sum opadu od maja do października, czyli w okresie intensywnego wzrostu roślin. Naj-



Rys. 6. Prognoza średniej temperatury powietrza w Grabowie dla scenariusza emisyjnego A2 IPCC (2007) wg modelu GFDL na lata 2030 i 2050

Źródło: baza danych akcji COST 734 WG4, opracowanie własne.



Rys. 7. Odchylenie sum opadów atmosferycznych dla scenariusza A2 IPCC (2007) na lata 2030 i 2050 w stosunku do normy 1971–2000 w Grabowie

Źródło: baza danych akcji COST 734 WG4, opracowanie własne.

większy spadek sumy opadu dochodzący do 20% normy z lat 1971-2000 ma nastąpić w sierpniu i wrześniu. Zmiana rozkładu opadów będzie najpoważniejszym problemem w dostosowaniu cyklu produkcyjnego oraz doboru roślin do uprawy w gospodarstwie.

Podsumowanie

Regulacje prawne, które będą zmuszały do ograniczania emisji gazów cieplarnianych (dotyczące również rolnictwa) nie muszą oznaczać niekorzystnych uwarunkowań dla rozwoju rolnictwa. Aby zmniejszyć emisję gazów cieplarnianych rolnictwo powinno dążyć do dalszej optymalizacji produkcji i efektywnego wykorzystania zasobów naturalnych. Cel ten może być osiągnięty przez mniejsze zużycie energii w rolnictwie oraz oszczędności środków produkcji w przeliczeniu na jednostkę uzyskiwanego plonu. Oznacza to potrzebę zwiększenia wydajności roślin oraz wprowadzenia bardziej efektywnych technologii produkcji. Potencjalne rozwiązania w zakresie mitygacji i adaptacji mogą być kontynuacją działań z Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich, których celem jest ochrona zasobów wodnych i gleby oraz dalsza modernizacja gospodarstw rolnych. Przygotowywana reforma Wspólnej Polityki Rolnej po 2013 r. zaleca uwzględnienie w priorytetach polityki rolnej UE celów mitygacyjnych i adaptacyjnych rolnictwa (3, 25). Dla nauk rolniczych oznacza to potrzebę przedstawienia rozwiązań dla praktyki wspierających działania w tym zakresie.

Literatura

1. Alcamo J., Moreno J. M., Nováky B., Bindí M., Corobov R., Devoy R. J. N., Giannakopoulos C., Martin E., Olesen J. E., Shvidenko A.: Europe. Climate change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, C. E. Hanson. Cambridge University Press, UK, 2007, 541-580.
2. Burton I., Lim B.: An adaptation policy framework: capacity building for stage II adaptation. UNDP-GEF, National Communications Support Programme, New York, 2001.
3. COM(2007) 354. Green Paper: Adapting to climate change in Europe – options for EU action. Brussels, 29.06 2007.
4. Decyzja Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2009/406/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie wysiłków podjętych przez państwa członkowskie, zmierzających do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych w celu realizacji do roku 2020 zobowiązań Wspólnoty dotyczących redukcji emisji gazów cieplarnianych.
5. Faber A.: Przyrodnicze skutki uprawy roślin energetycznych. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2008, **11**: 43-52.
6. Gołębiowska H., Snopczyński T.: Wzrost zagrożenia zachwaszczeniem wtórnym na tle zróżnicowanego przebiegu pogody. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2008, **48(2)**: 602-611.
7. Górski T.: Changes in Poland's agroclimatic condition over the last century. Papers on Global Change, 2007, **14**: 55-67.
8. Górski T., Demidowicz G., Deputat T., Jakacka M., Pać W.: Bonitacja agroklimatyczna Polski. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1979, 224.

9. Górski T., Kozyra J., Doroszewski A.: Field crop losses in Poland due to extreme weather conditions – case studies. In: The Influence of extreme phenomena on the natural environment and human living conditions. Eds. Liszewski. Łódzkie Towarzystwo Naukowe, Łódź, 2008, 35-49.
10. Górski T., Krasowicz S., Kuś J.: Glebowo-klimatyczny potencjał Polski w produkcji zbóż. Pam. Puł., 1999, **114**: 127-142.
11. Górski T., Zaliwski A.: Model agroklimatu Polski. Pam. Puł., 2002, **130(1)**: 251-260.
12. Iglesias A., Avis K., Benzie M., Fisher P., Harley M., Hodgson N., Horrocks L., Moneo M., Webb J.: Adaptation to climate change in the agricultural sector. European Commission DG AGRI, AEA/ED05334/Issue 1. 2007. (<http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/external/climate/>)
13. KOM(2010) 86: Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Postkopenhaska międzynarodowa polityka przeciwdziałania zmianie klimatu: natychmiastowe kroki, aby ożywić globalne działania. Bruksela, dnia 09.03.2010.
14. Kozyra J., Doroszewski A., Nieróbcza A.: Zmiany klimatyczne i ich przewidywany wpływ na rolnictwo w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2009, **14**: 243-257.
15. Kozyra J., Górski T.: Wpływ zmian klimatu na uprawę roślin w Polsce. W: Klimat – Środowisko – Człowiek. Polski Klub Ekologiczny, Okręg Dolnośląski, Wrocław, 2004, 41-50.
16. Kozyra J., Stuczynski T.: Potrzeby adaptacyjne polskiego rolnictwa – identyfikacja zagrożeń wynikających ze zmian klimatycznych i mechanizmy adaptacji. W: Polityka rolna Unii Europejskiej po 2013 roku. UKIE, Warszawa, 2008, 175-198.
17. Kozyra J.: Zastosowanie modelu agroklimatu Polski (MAP) do tworzenia numerycznych map opadów atmosferycznych. W: Współczesna meteorologia i klimatologia w geografii i ochronie środowiska. Red. K. Migala, P. Ropuszyński. Wrocław, 2006, 69-76.
18. Kundzewicz Z., Szwed M., Pińskwar I., Radziejewski M.: Global change and extreme hydrological events. Papers on Global Change, 2007, **14**: 79-92.
19. Lisowicz F.: Narastająca szkodliwość omacnicy prosowianki (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) dla kukurydzy w południowo-wschodniej Polsce. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2003, **43**: 247-250.
20. Nieróbcza A., Kozyra J.: Wpływ warunków pogodowych na plonowanie kukurydzy w Polsce. Mat. Konf.: Produkcja i wykorzystanie kukurydzy uprawianej na cele spożywcze i przemysłowe. Sielinko, 2010, 29-30.
21. Olesen J.E., Bindi M.: Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. Eur. J. Agron., 2002, 239-262.
22. Olesen J.E., Trnka M., Kersebaum K.C. et al.: Risk assessment and foreseen impacts on agriculture. Eur. J. Agricult. (in print), 2010.
23. Sadowski M., Wszyński Z., Górski T., Liszewska M., Olecka A., Łoboda T., Pietkiewicz S.: Adaptacja produkcji rolnej w województwie podlaskim do oczekiwanych zmian klimatu. IOŚ Warszawa, 2009.
24. SEC(2009) 1093.: Dokument roboczy Służb Komisji. The role of European agriculture in climate change mitigation. 23.7.2009.
25. SEC(2009) 417.: Dokument roboczy Służb Komisji uzupełniający Białą Księgę: Adaptacja do zmian klimatu: europejskie ramy działania. Adaptacja do zmian klimatu: wyzwanie dla europejskiego rolnictwa i obszarów wiejskich.
26. Smith P., Martino D., Cai Z., Gwary D., Janzen H., Kumar P., McCarl B., Ogle S., O'Mara F., Rice C., Scholes B., Sirotenko O.: Agriculture. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds.: B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA 2007.

27. Szwed M., Graczyk D.: Thermal seasons on Poland – present and future based on HadRM3-PRECIS results. *Papers on Global Change*, 2006, **13**: 59-77.
28. Witek T., Górski T.: *Przyrodnicza bonitacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*. Wyd. Geologiczne, Warszawa, 1977, **21**.

Adres do korespondencji:

dr Jerzy Kozyra
Zakład Agrometeorologii i Zastosowań Informatyki
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (81) 886 34 21
e-mail: kozyr@iung.pulawy.pl

Podziękowania:

Autorzy publikacji dziękują członkom czwartej grupy roboczej (WG4) akcji COST 734 z Instytutu Agroekosystemów i Bioklimatologii Uniwersytetu Mendla w Brnie za przygotowanie i udostępnienie wykorzystanej w pracy bazy danych scenariuszy klimatycznych.

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

W serii wydawniczej „STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB” publikowane są recenzowane prace z zakresu agronomii i kształtowania środowiska rolniczego, wykonane w ramach zadań programu wieloletniego pn. „Kształtowanie środowiska rolniczego Polski oraz zrównoważony rozwój produkcji rolniczej”. W zeszytach problemowych 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, wersja 6.0 lub wyższa
- czcionka – Times New Roman
- układ pracy: wstęp, wyniki i dyskusja bądź omówienie wyników, podsumowanie, literatura

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 odstępy międzywierszowe
- umieszczone w oddzielnych plikach
- pod tabelą przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

rysunki

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

jednostki miary

- system SI
- jednostki zapisywać potęgowo (np. t · ha⁻¹)

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 składać w 2 egzemplarzach. Po recenzji oryginalny egzemplarz recenzowany i ostateczną wersję pracy, uwzględniającą uwagi recenzenta i redaktora, składać do Redakcji w 1 egzemplarzu i na dyskietce lub przesłać e-mailem na adres:

Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
e-mail: imarcinkowska@iung.pulawy.pl

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.