

**STUDIA I RAPORTY  
IUNG-PIB**

**64(18)**



**ZAGROŻENIA DLA JAKOŚCI GLEB W POLSCE  
CZĘŚĆ II**

**PROGRAM WIELOLETNI  
2016-2020**

**WSPIERANIE DZIAŁAŃ W ZAKRESIE OCHRONY  
I RACJONALNEGO WYKORZYSTANIA  
ROLNICZEJ PRZESTRZENI PRODUKCYJNEJ W POLSCE  
ORAZ KSZTAŁTOWANIA JAKOŚCI SUROWCÓW ROŚLINNYCH**

Puławy 2020



INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

**STUDIA I RAPORTY  
IUNG-PIB**

**64(18)**

**ZAGROŻENIA DLA JAKOŚCI GLEB W POLSCE  
CZĘŚĆ II**

**PROGRAM WIELOLETNI  
2016-2020**

**WSPIERANIE DZIAŁAŃ W ZAKRESIE OCHRONY  
I RACJONALNEGO WYKORZYSTANIA  
ROLNICZEJ PRZESTRZENI PRODUKCYJNEJ W POLSCE  
ORAZ KSZTAŁTOWANIA JAKOŚCI SUROWCÓW ROŚLINNYCH**

**Puławy 2020**

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: *prof. dr hab. Wiesław Oleszek*

Redakcja naukowa:

*mgr Artur Łopatka, dr inż. Jacek Niedźwiecki,  
dr hab. Grzegorz Siebielec, prof. IUNG-PIB*

Autorzy:

*mgr Beata Bartosiewicz, mgr Katarzyna Bartuzi, prof. dr hab. Jacek Dach,  
dr Jan Jadczyzyn, mgr Radosław Kaczyński, mgr Piotr Koza,  
prof. dr hab. Stanisław Krasowicz, mgr Artur Łopatka, mgr Magdalena Łysiak,  
prof. dr hab. Mariusz Matyka, dr inż. Jacek Niedźwiecki, dr Piotr Ochał,  
dr hab. Grzegorz Siebielec, prof. IUNG-PIB, mgr Sylwia Siebielec,  
dr hab. inż. Bożena Smreczak, mgr Małgorzata Stachyra*

Recenzenci:

*dr hab. Guillaume Debaene, dr Agnieszka Klimkowicz-Pawlas,  
prof. dr hab. Stanisław Krasowicz, dr hab. Paweł Sowiński*

Opracowanie redakcyjne i techniczne: *mgr Katarzyna Mikulska*

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

ISBN 978-83-7562-339-0

*Egzemplarz bezpłatny*

Nakład 300 egz., B5

Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB w Puławach

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

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

STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB

**ZAGROŻENIA DLA JAKOŚCI GLEB W POLSCE  
CZĘŚĆ II**



## SPIS TREŚCI

Wstęp .....	7
1. Siebielec G., Łopatka A., Smreczak B., Kaczyński R., Siebielec S., Koza P., Dach J. – Materia organiczna w glebach mineralnych Polski.....	9
2. Smreczak B., Ochal P., Siebielec G. – Wpływ zakwaszenia na funkcje gleb oraz wyznaczanie obszarów ryzyka na użytkach rolnych w Polsce .....	31
3. Jadczyzyn J., Bartosiewicz B. – Procesy osuszania i degradacji gleb.....	49
4. Smreczak B., Niedźwiecki J., Jadczyzyn J., Łysiak M. – Aktualny stan odwadnianych gleb łąkowych wytworzonych z torfów niskich – badania pilotażowe .....	61
5. Łopatka A., Siebielec G., Smreczak B. – Zasobność gleb w podstawowe składniki oraz zanieczyszczenie gleb i wód azotanami .....	77
6. Siebielec G., Siebielec S. – Bioróżnorodność gleb .....	91
7. Krasowicz S., Matyka M., Stachyra M., Bartuzi K. – Efekty realizacji programów wieloletnich IUNG-PIB w latach 2005–2020 .....	109



## Wstęp

Gleba jest podstawowym i bardzo trudno odnawialnym zasobem oraz istotną częścią środowiska naturalnego, z którego pochodzi większość światowej produkcji żywności. Jednocześnie gleba zapewnia przestrzeń życiową dla ludzi, a także podstawowe usługi ekosystemowe, które są ważne dla regulacji i zaopatrzenia w wodę, regulacji klimatu, ochrony różnorodności biologicznej, sekwestracji dwutlenku węgla, a także usług kulturowych. Jednak gleby są pod presją antropogeniczną, w tym stale zwiększającego się zapotrzebowania na żywność i przestrzeń dla rozwijających się aglomeracji miejskich. Ponieważ gleby często uważane są za zasób, który zawsze będzie w stanie zapewnić nam swoje usługi ekosystemowe, bywają one w sposób niewłaściwy wykorzystywane, przez co dochodzi niejednokrotnie do pogorszenia zarówno ich jakości, jak i właściwego funkcjonowania ekosystemów glebowych.

Przyjęty we wrześniu 2006 r. przez Parlament Europejski dokument „Strategia tematyczna w dziedzinie ochrony gleby” COM(2006)231 w istotny sposób podkreśla znaczenie środowiska glebowego dla prawidłowego funkcjonowania wielu dziedzin gospodarki poszczególnych krajów członkowskich oraz nakazuje wdrożenie do polityki UE, w tym do Wspólnej Polityki Rolnej, działań na rzecz ochrony gleb. Rolnictwo w największym zakresie korzysta z zasobów glebowych, dlatego polityka rolna zawiera elementy nakładające na rolników odpowiedzialność za utrzymywanie wysokiej jakości gleb oraz podjęcia działań zapobiegających utracie jej podstawowych funkcji m.in. produkcyjnej, siedliskowej oraz retencyjnej.

Niniejsze „Studia i Raporty IUNG-PIB” wskazują na jedno z ważniejszych problemów właściwego zarządzania gruntami na obszarach wiejskich w aspekcie ich prawidłowego funkcjonowania. W poszczególnych rozdziałach przedstawione zostały najistotniejsze zagadnienia z punktu widzenia jakości i zdrowotności gleb tj. rola materii organicznej zarówno w glebach mineralnych, jak i organicznych oraz przyczyny i skalę zagrożeń związanych z ubytkiem glebowej materii organicznej. Kolejne rozdziały dotyczą niezwykle istotnych z punktu widzenia produkcji rolniczej oraz ochrony środowiska glebowego problemów jakimi są zakwaszenie gleb, zanieczyszczenie wód azotanami, zagrożenie suszą a także ochrona bioróżnorodności gleb.

Mamy nadzieję, że zaprezentowane w zeszycie zagadnienia, będą służyć podnoszeniu świadomości w odniesieniu do znaczenia gleb, a zwłaszcza potrzeb ochrony gleb oraz ich zrównoważonego użytkowania.

Kierownik zadania 1.2

*dr Jacek Niedźwiecki*

Kierownik zadania 1.9

*mgr Artur Łopatka*





**Grzegorz Siebielec<sup>1</sup>, Artur Łopatka<sup>1</sup>, Bożena Smreczak<sup>1</sup>,  
Radosław Kaczyński<sup>1</sup>, Sylwia Siebielec<sup>1</sup>, Piotr Koza<sup>1</sup>, Jacek Dach<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Institut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy  
w Puławach*

*<sup>2</sup>Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu*

## MATERIA ORGANICZNA W GLEBACH MINERALNYCH POLSKI\*

**Słowa kluczowe:** próchnica, węgiel organiczny, egzogenna materia organiczna, zmianowanie, profile wzorcowe, monitoring gleb

### **Rola materii organicznej w glebie**

Materia organiczna gleby, której najbardziej znaczącą część stanowi próchnica glebowa, jest składnikiem gleby o bardzo dużym znaczeniu dla jej funkcjonowania. Zawartość materii organicznej to jeden z głównych wskaźników jakości środowiska glebowego, co wynika z roli materii organicznej w kształtowaniu właściwości fizycznych (gęstość, stabilność agregatów, retencja wody), fizycznochemicznych/chemicznych (wymiana jonowa, właściwości buforowe, rozpuszczalność i migracja pierwiastków, detoksykacja środowiska, źródło makro- i mikroelementów dla roślin) i biologicznych gleby (dostarczanie składników pokarmowych i energii dla mikroorganizmów, biostymulacja wzrostu i rozwoju roślin, regulacja bioróżnorodności). Ważna jest jej rola strukturotwórcza – zlepiając cząstki mineralne odpowiada za tworzenie właściwej, agregatowej struktury gleby, co z kolei pozytywnie wpływa na jej napowietrzenie, przepuszczalność, pojemność wodną i zwięzłość. Próchnica glebowa, wchodząca w skład materii organicznej, bierze udział w procesach sorpcji wymiennej i regulowaniu buforowych właściwości gleby. Związki próchnicowe, tj. kwasy humusowe czy fulwowe, wpływają na rozpuszczalność i migrację jonów metali, mogą zatem zarówno zwiększać dostępność niektórych pierwiastków potrzebnych roślinom (mikroelementów), jak i zmniejszać dostępność szkodliwych zanieczyszczeń. Związki humusowe mają zdolność do wiązania nie tylko mineralnych składników gleby, ale także cząsteczek zanieczyszczeń organicznych, jak np. środków ochrony roślin, oraz

\* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

zanieczyszczeń uwalnianych do środowiska z przemysłu, m.in. polichlorowanych bifenyli (PCB) oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA).

Niezwykle istotną rolą glebowej materii organicznej jest przeciwdziałanie suszy. Rola ta jest związana z właściwościami retencyjnymi samej materii organicznej, a dodatkowo prawidłowa struktura gleby, zależna od materii organicznej, sprzyja zatrzymywaniu większych ilości wody w glebie. Większa odporność gleb o wysokiej zawartości próchnicy na zagęszczenie gleby ogranicza spływ wody deszczowej po powierzchni gleby, zwiększając stopień jej wykorzystania przez rośliny. Próchnica ma dodatni wpływ na aktywność mikroorganizmów wspomagających rośliny w okresach suszy, powodując większą odporność roślin uprawnych, co wynika z interakcji pomiędzy roślinami i mikroorganizmami w strefie korzeniowej. Mikroorganizmy mogą wspomagać odporność roślin na suszę poprzez np. produkcję polisacharydów poprawiających strukturę gleby, syntezę deaminaz, produkcję kwasu indoliloctowego i proliny, poprawę cyrkulacji wody przez grzyby itd. (9).

Celem pracy było omówienie wpływu różnych praktyk rolniczych na zawartość materii organicznej w glebie, potencjału wykorzystania egzogennej materii organicznej oraz zmian zawartości materii organicznej w skali regionalnej i krajowej.

### **Wpływ praktyk rolniczych na zmiany zawartości materii organicznej w glebie**

Spśród czynników, które w największym stopniu wpływają na zawartość próchnicy w glebie należy wymienić: a) sposób użytkowania gruntu (leśny, rolny, łąkowy); b) intensywność rolnictwa tj. rodzaj i intensywność zabiegów agrotechnicznych, płodozmian i wysokość plonów; c) gospodarka resztkami poźniwnymi; d) poziom nawożenia organicznego.

W ostatnich latach w niektórych regionach kraju został odnotowany wzrost udziału gospodarstw bezinwentarzowych, a więc pozbawionych nawożenia organicznego obornikiem. Następuje koncentracja produkcji zwierzęcej w niektórych regionach, np. w województwach podlaskim i warmińsko-mazurskim. Z kolei w innych regionach (tj. województwa: małopolskie, podkarpackie, lubelskie) występuje znaczny deficyt nawozów naturalnych (obornik) wynikający z zaniechania produkcji zwierzęcej, co grozi negatywnym bilansem materii organicznej w glebie. Zawartość materii organicznej w glebie jest również uwarunkowana rodzajem zmianowań, co wiąże się z ilością pozostających na polu resztek pozbiorowych. Do roślin próchnico-twórczych, a więc takich, których uprawa wzbogaca glebę w materię organiczną zalicza się trawy oraz rośliny bobowate. Dużo mniejsze ilości resztek pozbiorowych wnoszą do gleby zboża, szczególnie w przypadku gdy słoma nie jest przyorywana, a najmniejsze – rośliny okopowe. Podstawowym warunkiem poprawnego gospodarowania w rolnictwie jest utrzymanie dodatniego lub przynajmniej zrównoważonego bilansu glebowej materii organicznej (próchnicy).

Resztki roślinne oraz nawozy naturalne i organiczne ulegają w glebie rozkładowi przez mikroorganizmy, a następnie podlegają przemianom prowadzącym do powstania związków próchnicowych. Oprócz negatywnego bilansu materii organicznej

wynikającego z niewłaściwego zmianowania roślin i niedostatku nawożenia naturalnego, zasadniczym czynnikiem przyczyniającym się do spadku zawartości próchnicy jest zmiana stosunków wilgotnościowych i obniżenie poziomu lustra wody gruntowej w glebach o opadowo-gruntowym typie zasilania w wodę.

Do głównych praktyk powodujących ubytek materii organicznej w glebie zaliczane są:

- zmiana sposobu użytkowania z naturalnego (leśnego, łąkowego) na orny;
- zaniechanie stosowania obornika, gnojowicy, nawozów zielonych, kompostów;
- duża liczba zabiegów uprawowych powodujących nadmierne napowietrzenie gleby intensyfikujące rozkład materii organicznej;
- intensyfikacja uprawy, wprowadzanie uproszczonego zmianowania z dominacją zbóż (szczególnie monokultur zbożowych);
- zbiór słomy zbóż i przeznaczanie jej na inne cele niż przyoranie.

Z kolei do praktyk zapewniających dodatni bilans materii organicznej w glebie należą:

- przyorywanie słomy i zielonego nawozu;
- uprawa poplonów i międzyplonów;
- uprawa roślin bobowatych;
- stosowanie nawozów naturalnych (obornik) i organicznych (np. kompost);
- uproszczenia w uprawie roli (11).

Istotny wpływ na zasoby materii organicznej w glebach ma również sposób uprawy roli. Zamiana tradycyjnego sposobu uprawy roli (orkowego) na system bezorkowy lub z ograniczoną liczbą zabiegów uprawowych pozwala zwiększyć zasoby materii organicznej (16). Uproszczenia w uprawie roli zmniejszają zakłócenia profilu glebowego, ograniczają napowietrzenie gleby sprzyjające degradacji materii organicznej oraz chronią strukturę gleby. Uprawa uproszczona lub bezorkowa powodują jednak akumulację próchnicy węgla wyłącznie w przypadku wieloletniego stosowania. Pośrednio na poziom materii organicznej w glebie wpływają również:

- regulacja odczynu gleby,
- zabezpieczenie gleby przed erozją.

### **Potencjalne egzogenne źródła węgla w glebie oraz korzyści i ryzyko związane z ich stosowaniem**

Niedobór materii organicznej w glebie wynikający z przyjętego zmianowania i sposobu wykorzystania resztek poźniwnych można uzupełniać ze źródeł egzogennych. Dobrym źródłem materii organicznej są nawozy naturalne. Obornik to tradycyjny nawóz naturalny składający się z odchodów (kału i moczu) zwierząt gospodarskich oraz ściółki. Skład chemiczny obornika może być zróżnicowany, w zależności od gatunku i wieku zwierząt, sposobu ich żywienia oraz jakości skarmianej paszy, od ilości stosowanej ściółki oraz stopnia przefermentowania materiału. Stosowanie obornika na gruntach ornych jest powszechnie uważane za właściwy

i niedrogi sposób postępowania z odpadami zwierzęcymi. Obornik jako nawóz należy stosować racjonalnie – zgodnie z zaleceniami dobrej praktyki rolniczej dawka nawozu naturalnego (obornik, gnojówka i gnojowica) na 1 ha użytków rolnych w ciągu roku nie może przekroczyć  $170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  (6). Dotychczasowe badania dotyczące obornika z reguły dotyczyły stopnia wykorzystania przez rośliny składników nawozowych (azot, fosfor), wpływu na plon lub ryzyka wymywania biogenów z gleby. Należy mieć jednak świadomość, że obornik, może zawierać szereg, często nierozpoznanych dotychczas zanieczyszczeń: antybiotyki, metale, hormony, pozostałości pestycydów. Najnowsze nieliczne jeszcze doniesienia wskazują, że obornik może być rezerwuarem antybiotykooopornych bakterii i pozostałości farmaceutyków. Badania prowadzone w Chinach wskazują, że jego zastosowanie do gleb rolniczych znacząco zwiększa ilość ARG (ang. *antibiotic resistance genes*) i udział antybiotykoodpornych populacji bakterii w glebie (3). Duża ilość metali i antybiotyków jest corocznie wykorzystywana w koncentratkach do żywienia zwierząt na całym świecie, w leczeniu chorób zwierzęcych i promowaniu wzrostu zwierząt oraz w celach profilaktycznych i terapeutycznych w hodowli zwierząt. Stosowanie antybiotyków zostało zakazane w Unii Europejskiej od 2006 r., a w USA ich wykorzystanie w celach nieterapeutycznych zostało wstrzymane. Jednak w niektórych krajach nadal dość powszechnie używa się antybiotyków w produkcji zwierzęcej.

Intensywny rozwój gospodarki, w tym modernizacja i budowa nowych oczyszczalni ścieków, a także rozbudowa sieci kanalizacyjnej, spowodowały zwiększenie produkcji osadów ściekowych w Polsce. Zgodnie z Krajowym planem gospodarki odpadami produkcja osadów ściekowych miała w 2018 r. osiągnąć aż 706,6 tys. ton suchej masy osadu (1). Jakość komunalnych osadów ściekowych stosowanych w rolnictwie określa rozporządzenie Ministra Środowiska z 6 lutego 2015 r. Kryteria obejmują wskaźniki jakości, takie jak zawartość pierwiastków śladowych (kadm, ołów, rtęć, nikiel, cynk, miedź, chrom), obecność bakterii *Salmonella* i liczba żywych jaj pasożytów jelitowych (*Ascaris* spp., *Trichuris* spp., *Toxocara* spp.). W rozporządzeniu określono również roczne lub skumulowane 2-, 3-letnie dawki osadu dopuszczalne do zastosowania w rolnictwie i rekultywacji do celów nierolniczych. Wykorzystanie osadów ściekowych w rolnictwie lub rekultywacji można uznać za alternatywną metodę recyklingu substancji organicznych i składników nawozowych. Średnio osady komunalne wytwarzane w Polsce zawierają 2,6% azotu (N) i 1,83% fosforu (P) w suchej masie (15), stanowiąc znaczny rezerwuuar tych składników nawozowych. Dla przykładu, zakładając prognozowaną produkcję osadów ściekowych w kraju na poziomie 706,6 tys. ton, mogą one zawierać prawie 18,5 tys. ton N i 13 tys. ton P. Ilość ta teoretycznie mogłaby zastąpić nawozy mineralne P na obszarze 618 tysięcy hektarów użytków rolnych (6,2% ogólnej powierzchni gruntów ornych), zakładając średnie dawki nawożenia P w Polsce. Wieloletnie badania skutków stosowania osadów ściekowych prowadzone w Zakładzie Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów IUNG-PIB wskazują na następujące uogólnienia:

- aplikacja doglebowa osadów ściekowych powoduje wzrost plonowania roślin uprawnych;

- pewne ryzyko jest związane ze stężeniem azotanów w odciekach z gleb i ich całkowitym wymyciem, z czego wynika konieczność ograniczeń w dawkach osadu i potrzeba ich dostosowania do właściwości gleby;
- małe stężenia pierwiastków śladowych w odciekach z profilu glebowego nie powodują zagrożeń dla środowiska i jakości zasobów wodnych;
- osady ściekowe mogą uzupełniać deficyty mikroelementów i magnezu w roślinach oraz zwiększać zasobność gleb w fosfor i magnez przyswajalny;
- wprowadzenie osadów ściekowych zwiększa odporność gleby na fizyczną degradację;
- dawki osadu nieprzekraczające  $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  nie powodują nadmiernego nagromadzenia kadmu w roślinach;
- stosowanie rekultywacyjnych dawek osadów ściekowych powoduje trwałą sekwestrację węgla w glebie;
- osady ściekowe z reguły stymulują aktywność i liczebność mikroorganizmów glebowych, szczególnie bakterii;
- dopuszczalne aktualnie dawki osadów ściekowych stosowane w rolnictwie oraz obecne kryteria jakości osadów nie powodują żadnego zagrożenia środowiskowego ze strony potencjalnie toksycznych pierwiastków, takich jak arsen, kadm i ołów (12, 13).

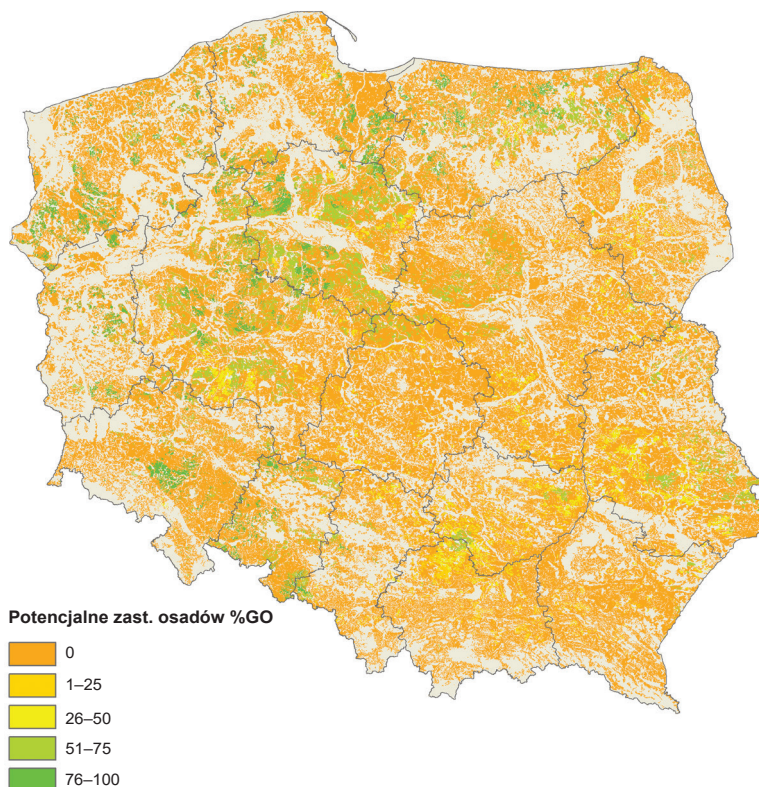
Należy jednak mieć świadomość, że komunalne osady ściekowe mogą zawierać szereg często nierozpoznanych dotychczas zanieczyszczeń, takich jak: antybiotyki i inne farmaceutyki, antybiotykooporne bakterie, hormony, nanocząstki, mikroplastiki, związki towarzyszące plastikom. Kwestia poziomu zawartości tych zanieczyszczeń i ewentualnego ryzyka związanego z nimi wymaga szczegółowych badań. W tej sytuacji może wzrastać rola osadów ściekowych z przemysłowych oczyszczalni ścieków przemysłu spożywczego, które są odizolowane od większości wymienionych zanieczyszczeń. Zarówno komunalne osady ściekowe i osady ściekowe z przemysłu spożywczego mogą być substratami do produkcji bionawozów organicznych.

W celu określenia potencjału wykorzystania komunalnych osadów ściekowych w rolnictwie przyjęto założenie, że osady będą konkurować w tym zakresie jedynie z nawozami naturalnymi (obornik, gnojowica). Nie uwzględniono ograniczeń wynikających z kosztów transportu i dystrybucji osadów na polach. Uwzględniono natomiast następujące ograniczenia:

- osady będą stosowane tylko na gruntach ornych (GO) – warunek ten wynika zarówno z obowiązujących przepisów, jak i zagrożeń środowiskowych, jakie mogłoby powodować stosowanie osadów ściekowych na użytkach zielonych, które są położone często na obszarach o znacznym nachyleniu lub o wysokim poziomie wód gruntowych;
- osady nie powinny być stosowane na glebach bardzo lekkich o wysokiej przewodności hydraulicznej i niskiej pojemności retencyjnej, z których składniki takie jak azot i fosfor są łatwo wypłukiwane z gleby;
- osady powinny być stosowane na glebach o niskiej zawartości próchnicy  $<2\%$ ;

- osady nie mogą być stosowane na glebach o odczynie  $\text{pH} < 5,6$ , zgodnie z obowiązującymi przepisami, ze względu na ryzyko środowiskowe występujące w związku z uwalnianiem z nich metali śladowych w warunkach kwaśnego odczynu;
- osady nie mogą być stosowane na obszarach, gdzie poziom wód gruntowych znajduje się w przedziale 0–2 m – ze względu na ryzyko transferu biogenów i zanieczyszczeń do wód;
- osady nie mogą być stosowane na obszarach NATURA 2000;
- osady nie będą stosowane przez gospodarstwa o powierzchni poniżej 10 ha ze względu na stosunkowo dużą uciążliwość procedury administracyjnej w stosunku do spodziewanych korzyści.

Analiza wykazała, że potencjalne obszary zastosowania osadów ściekowych obejmują 8,4% powierzchni GO w Polsce, co stanowi obszar około 0,905 mln ha. Są one silnie rozproszone przestrzennie, a ich większe skupiska występują na północnym zachodzie kraju, w szczególności w województwie kujawsko-pomorskim (rys. 1).



Rys. 1. Przestrzenny rozkład gruntów ornych o dużym potencjale wykorzystania osadów ściekowych do nawożenia gleb

Źródło: opracowanie własne

W ostatnich latach wzrasta również produkcja biodegradowalnych odpadów, które potencjalnie mogą stanowić alternatywne źródła materii organicznej do nawożenia gleb i rekultywacji. Wśród odpadów organicznych, które są dopuszczone do stosowania zgodnie z metodą odzysku R10 (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 stycznia 2015 r. w sprawie procesu odzysku R10), czyli rozprowadzania na powierzchni gleby w celu nawożenia lub jej ulepszenia, znajdują się między innymi: osady z oczyszczania stawów służących do hodowli i chowu ryb, odpady z gospodarki leśnej, grzybnia pochodząca z hodowli pieczarek, wytloki i inne odpady z przetwórstwa produktów roślinnych, wytloki, osady moszczowe i pofermentacyjne, wywary (niezawierające części mineralnych), odpady ulegające biodegradacji z pielęgnacji terenów zielonych, materiał po procesie kompostowania, przefermentowane odpady z beztlenowego rozkładu gnojowicy, odpadów roślinnych i zwierzęcych. Ich zastosowanie do nawożenia gleb wymaga uzyskania zezwolenia powiatowego wydziału ochrony środowiska, po uprzednim wykonaniu badań zawartości zanieczyszczeń w odpadzie i glebie pobranej z docelowego pola.

W kraju ilość odpadu z produkcji pieczarek kształtuje się na poziomie 1500 tys. ton, stanowiąc znaczny potencjał w zakresie nawożenia gleb (4). Odpady te mogą zawierać około 30% węgla organicznego, 2% azotu i 0,5% fosforu (8). Brak jest natomiast danych na temat wielkości krajowej produkcji osadów z oczyszczania stawów służących do hodowli i chowu ryb. Określa się, że ilość uwodnionych osadów z jednego stawu może wynosić 15 t (19). Brak jest również danych w odniesieniu do ilości wytlóków z przetwórstwa produktów roślinnych, przy czym wiadomo, że odpady te mogą stanowić średnio 25–35% masy surowca wsadowego. Jest to odpad łatwo degradowalny, dlatego może znaleźć szczególne zastosowanie jako surowiec w produkcji biogazu oraz pofermentu jako produktu ubocznego.

Wielkość produkcji pofermentu, który jest odpadem przy produkcji biogazu stale wzrasta w Polsce. Co istotne, w trakcie procesu fermentacji substraty wyjściowe podlegają niewielkim stratom składników nawozowych. Bardziej ekonomicznie i środowiskowo uzasadnione jest, aby odpady powstające w rolnictwie i przemyśle rolno-spożywczym były poddawane procesowi fermentacji, a jako nawóz wykorzystywano pulpę pofermentacyjną (2). Poferment może być wartościowym bionawozem, z uwagi na wysoką zawartość i przyswajalność azotu oraz, w przypadku pofermentu stałego, dość wysoką zawartość materii organicznej. Wykorzystanie w rolnictwie pofermentu podlega jednak obecnie tym samym ograniczeniom co inne odpady biodegradowalne i jest dopuszczalne zgodnie z przepisami wspomnianego wcześniej rozporządzenia dotyczącego odzysku metodą R10. Według danych Rejestru wytwórców biogazu rolniczego, obecnie w Polsce funkcjonuje 114 biogazowni rolniczych. Substraty do produkcji biogazu można podzielić na 3 grupy:

- odpady z produkcji zwierzęcej (np. gnojowica, obornik);
- uprawy energetyczne (np. kiszonka z kukurydzy, sianokiszonka, zboże);
- odpady z przemysłu rolno-spożywczego (np. wywar gorzelniany, serwatka, wysłodki, pulpa ziemniaczana, resztki owoców i warzyw).



Kompostowanie, czyli autotermiczny i termofilowy rozkład bioodpadów jest bardzo dobrym sposobem na poprawę ich jakości przed zastosowaniem do nawożenia. Proces ten zachodzi przy udziale mikroorganizmów w obecności tlenu, dzięki czemu odpady ulegają stabilizacji, następuje likwidacja patogenów, a sam kompost można łatwiej magazynować, transportować i rozprowadzać na polu (2).

Jedną z potencjalnych strategii sekwestracji węgla w glebie jest zastosowanie biowęgla. Biowęgiel produkowany jest w procesach traktowania biomasy (drewno, rośliny energetyczne, słoma, odpady drzewne, papier, bioodpady) wysoką temperaturą przy ograniczonym dostępie tlenu. Na obecnym etapie rozwoju technologii produkcja biowęgla jest w fazie startowej, zatem nie stanowi alternatywy dla innych materiałów organicznych. Należy jednak przypuszczać, że z biegiem czasu pojawią się tańsze technologie produkcji biowęgla lub toryfikatu, zwiększające również potencjał ich wykorzystania w rolnictwie. Zastosowanie biowęgla na szerszą skalę będzie wymagało również oceny ich wpływu na środowisko glebowe ze względu na wysoką zawartość WWA w niektórych produktach pirolizy.

Należy wspomnieć, że wszystkie wymienione potencjalne źródła egzogennej materii organicznej, poza obornikiem, mogą być wprowadzone na rynek nawozowy jedynie po uzyskaniu statusu nawozu lub środka poprawiającego właściwości gleby. W przeciwnym razie zachowują status odpadu i podlegają wymienionym wcześniej przepisom regulującym ich rolnicze lub rekultywacyjne wykorzystanie.

### **Poziom zawartości materii organicznej w glebach mineralnych w Polsce**

Naturalna zawartość materii organicznej w glebach Polski uzależniona jest od czynników naturalnych, takich jak: typ gleby i jej uziarnienie (gatunek), położenie w rzeźbie terenu i stosunki wodne, charakter szaty roślinnej porastającej teren, na które nakłada się wpływ gospodarki człowieka. W Polsce ze względu na zawartość substancji organicznej w poziomie orno-próchnicznym wyróżnia się 4 klasy zasobności w próchnicę:

- <1% – niska;
- 1–2% – średnia;
- 2–3,5% – wysoka;
- >3,5% – bardzo wysoka.

Gleby Polski zawierają stosunkowo mało materii organicznej, gdyż w pokrywie glebowej dominują gleby lekkie wytworzone piasków różnego pochodzenia. Są one przewiewne, a niektóre z nich trwale za suche. Charakteryzują się niską zawartością frakcji koloidalnej (<0,002 mmm), co nie sprzyja akumulacji próchnicy w glebach, a procesy mineralizacji związków organicznych są potęgowane przez obserwowane w ostatnich latach niedobory opadów.

Najobszerniejsze przestrzenne bazy danych o zawartości materii organicznej w glebach pochodzą z:

- programu ocena stanu ekologicznego gleb użytków rolnych Polski realizowanego w latach 90. XX w. (1992–1997), obejmującego około 44 tysięcy profili pobranych na UR (17, 18);
- programu monitorowania wpływu instrumentów polityki rolnej na jakość gleb, realizowanego w ramach zadania 1.3 programu wieloletniego IUNG-PIB 2016–2020 „Monitorowanie różnych parametrów środowiska glebowego dla właściwej oceny WPR”. Program obejmował około 41 tysięcy lokalizacji na terenie całego kraju. Prace w ramach zadania pozwoliły na ocenę zmian parametrów środowiska glebowego zarówno w ujęciu dynamicznym (w latach) przez porównania do wcześniejszych okresów, jak i w ujęciu przestrzennym (<http://pw.iung.pl/>).

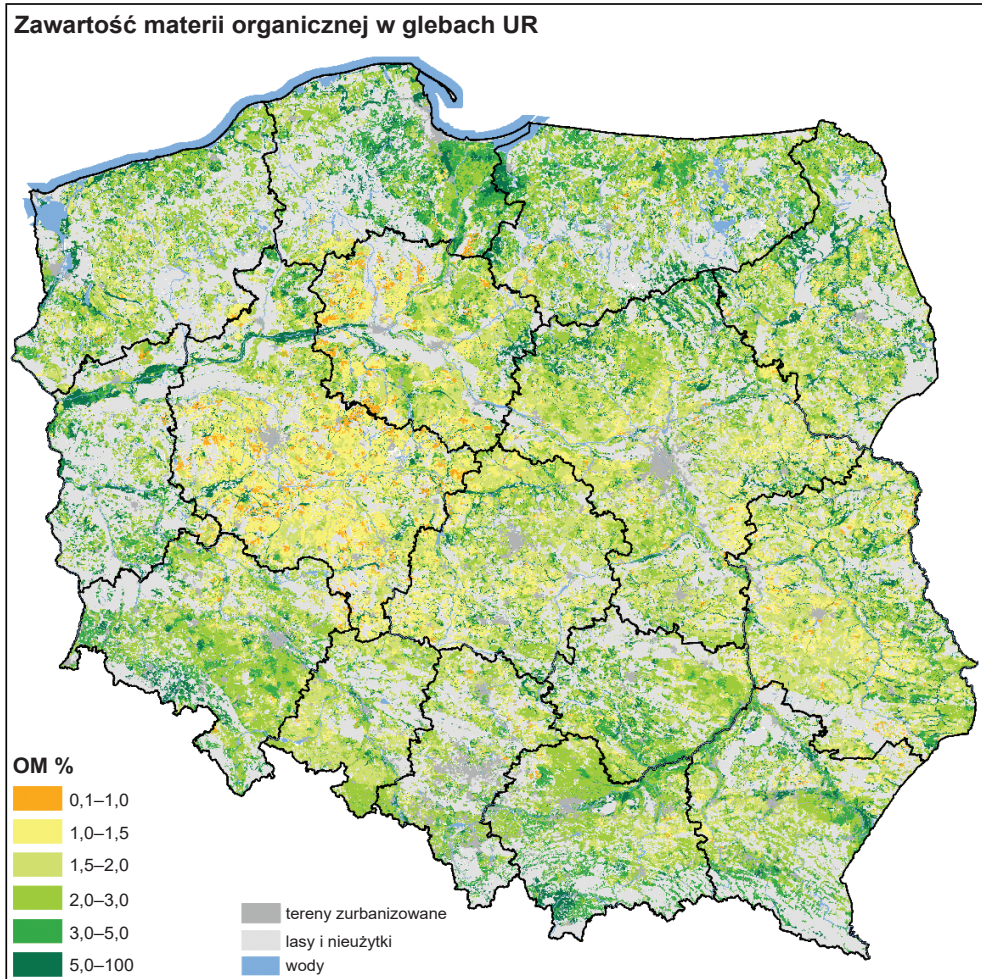
W przypadku obu programów prace terenowe i analizy właściwości chemicznych gleb a w programie oceny stanu ekologicznego gleb użytków rolnych Polski również analizy roślin, były wykonywane w stacjach chemiczno-rolniczych, a koordynację merytoryczną nad programami oraz integrację i analizę danych prowadził Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB w Puławach.

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono mapy zawartości materii organicznej w glebach użytków rolnych na podstawie programu badań odpowiednio: z lat 1992–1997 oraz 2016–2020. Obie bazy danych wykazują znaczną zmienność zawartości materii organicznej w glebach oraz dość zbliżony układ przestrzenny gruntów z niską zawartością materii organicznej, przy czym bardziej aktualne dane (z lat 2016–2020) wskazują na nieco gorszą sytuację w glebach województwa wielkopolskiego oraz mniejszy udział gleb o niskiej zawartości próchnicy w województwach mazowieckim i świętokrzyskim, w porównaniu z danymi historycznymi.



Rys. 2. Mapa zawartości materii organicznej w glebach użytków rolniczych Polski na podstawie programu badań z lat 1992–1997

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3. Mapa zawartości materii organicznej w glebach użytków rolniczych Polski na podstawie programu badań z lat 2016–2020

Źródło: opracowanie własne

Porównując poszczególne województwa, najwyższe przeciętne zawartości materii organicznej w glebach gruntów ornych występują w województwach: lubuskim, pomorskim oraz małopolskim a najniższe – w wielkopolskim, kujawsko-pomorskim, lubelskim i łódzkim, w których mediana zawartości jest niższa niż 1,7% (tab. 1).

Przeciętna zawartość materii organicznej w glebach trwałych użytków zielonych w dużym stopniu zależy od udziału użytków zielonych położonych na glebach pochodzenia organicznego i jest najwyższa w województwach: podlaskim, zachodniopomorskim i pomorskim (tab. 1)

Tabela 1

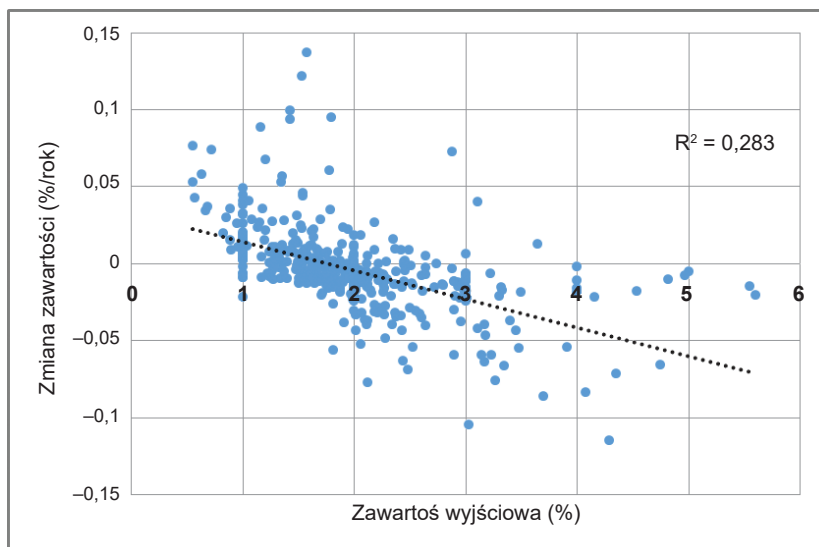
Przeciętne zawartości materii organicznej (w %) w glebach na podstawie programu badań z lat 2016–2020

Województwo	Grunty orne		Trwałe użytki zielone	
	średnia zawartość	mediana zawartości	średnia zawartość	mediana zawartości
Dolnośląskie	2,54	2,35	5,03	3,48
Kujawsko-pomorskie	1,95	1,64	20,96	23,13
Lubelskie	1,84	1,69	27,86	6,73
Lubuskie	3,14	2,53	19,58	8,30
Łódzkie	1,87	1,69	24,89	21,86
Małopolskie	2,84	2,42	5,33	3,70
Mazowieckie	2,00	1,78	21,71	6,70
Opolskie	2,07	1,91	4,85	2,57
Podkarpackie	2,62	2,34	9,22	3,51
Podlaskie	2,22	1,99	44,38	51,10
Pomorskie	3,11	2,72	29,69	30,16
Śląskie	2,34	2,08	7,09	3,32
Świętokrzyskie	2,38	2,12	13,10	4,28
Warmińsko-mazurskie	2,78	2,34	32,07	27,47
Wielkopolskie	1,65	1,40	17,48	12,46
Zachodniopomorskie	2,38	2,13	37,09	39,68
<b>POLSKA</b>	<b>2,26</b>	<b>1,98</b>	<b>22,27</b>	<b>16,99</b>

### Zmiany zawartości materii organicznej w glebach mineralnych

#### Wieloletnie zmiany zawartości materii organicznej w profilach wzorcowych

Ocenę trendów zmian zawartości materii organicznej w wierzchniej warstwie gleb gruntów ornyczych wykonano na podstawie analizy profili wzorcowych z województw: podlaskiego, lubelskiego, wielkopolskiego oraz dolnośląskiego (razem 570 profili). Dane historyczne o zawartości materii organicznej w profilach o znanym położeniu geograficznym pochodziły z lat 1960–1980, a ponowną analizę w tych samych lokalizacjach wykonano w okresie 2010–2019. Analiza danych wykazała, że spadek zawartości materii organicznej na przestrzeni ostatnich 30–50 lat dotyczył głównie gleb o wyższej początkowej jej zawartości (rys. 4). Regresja liniowa dla zależności pomiędzy wyjściową zawartością materii organicznej a tempem zmian zawartości wskazuje, że punkt równowagi znajduje się przy zawartości materii organicznej na poziomie 1,5–2,0%. Tempo zmiany zawartości materii organicznej kształtowało się w zakresie od 0,12% straty do 0,13% akumulacji w ciągu roku, jednak w zdecydowanej większości lokalizacji zmiana zawartości mieściła się w zakresie od –0,05 do 0,05%.



Rys. 4. Kierunek i zakres zmian zawartości materii organicznej w glebach województw: podlaskiego, lubelskiego, dolnośląskiego i wielkopolskiego w zależności od zawartości początkowej

Źródło: opracowanie własne

W zdecydowanej większości profili o początkowej zawartości materii organicznej powyżej 2% zanotowano spadek zasobności. Jedynie w kilkunastu profilach tej grupy gleb stwierdzono wzrost zawartości materii organicznej. W grupie profili o zawartości wyjściowej 1,5–2,0%, która stanowiła ponad 40% wszystkich profili, jedynie 1/3 gleb podlegała procesowi akumulacji materii organicznej. Przyrosty zawartości obserwowano natomiast w większości gleb o zawartości początkowej poniżej 1,5% s.m. gleby.

We wszystkich województwach objętych badaniami porównawczymi zanotowano wzrost udziału gleb o średniej zawartości materii organicznej (1–2% s.m. gleby), głównie kosztem gleb o wyjściowej wysokiej zawartości (2–3,5% s.m.) (tab. 2). Udział gleb o zawartości powyżej 3,5% pozostawał na dość zbliżonym poziomie, podczas gdy liczba gleb najmniej zasobnych (poniżej 1% s.m.) zmniejszyła się w województwach podlaskim i dolnośląskim.

Tabela 2

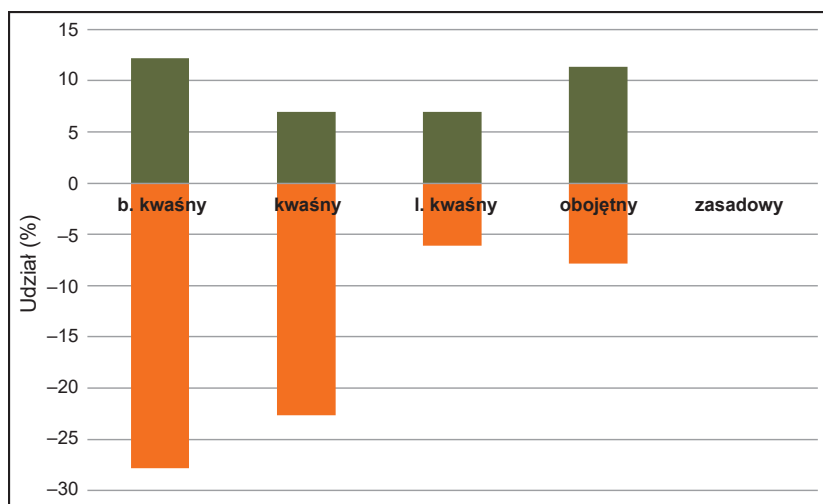
Udział profili wzorcowych w poszczególnych klasach zasobności gleb gruntów ornych w materię organiczną w analizowanych województwach w różnych okresach (%)

Kategorie zasobności		woj. lubelskie		woj. podlaskie		woj. dolnośląskie		woj. wielkopolskie	
		1960–1980	2010–2019	1960–1980	2010–2019	1960–1980	2010–2019	1960–1980	2010–2019
≤ 1	niska	1,7	3,5	14,6	6,9	7,2	0,0	8,1	13,5
1–2	średnia	57,4	80,2	57,2	71,6	32,1	50,0	64,9	75,7
2–3,5	wysoka	38,3	12,1	22,7	18,5	53,6	42,9	24,3	8,1
> 3,5	b. wysoka	2,6	4,3	5,5	3,0	7,1	7,1	2,7	2,7

Źródło: opracowanie własne

Przyrost zawartości materii organicznej stwierdzono w większości przypadków na glebach lekkich, często okresowo zbyt suchych, co należy zapewne tłumaczyć sposobem ich rolniczego użytkowania, stosowanymi płodozmianami, nawożeniem organicznym i innymi elementami agrotechniki sprzyjającymi akumulacji próchnicy. Należy zaznaczyć, że gleby lekkie w większości charakteryzuje opadowy typ gospodarki wodnej, dlatego na kształtowanie gospodarki wodnej tych gleb, a zatem i na warunki akumulacji materii organicznej, nie wpływa podsiąk kapilarny. Wzrost wielkości plonów i resztek poźniwnych w ostatnich kilkudziesięciu latach spowodował wzrost ilości biomasy wchodzącej w cykl przemian próchnicy. Kontrastuje to z kierunkiem zmian zawartości materii organicznej w glebach o początkowo wysokich jej zasobach, w większości zależnych od podsiąku kapilarnego, funkcjonujących w opadowo-gruntowym typie gospodarki wodnej.

Warto wspomnieć, że w glebach o początkowym odczynie obojętnym (pH w 1 M KCl 6,5–7,2) w województwie lubelskim zaobserwowano w znacznej części profili wzorcowych zjawiska akumulacji materii organicznej (rys. 5). Obserwacja ta potwierdza tezę o bardziej stabilnej materii organicznej w glebach niezakwaszonych.



Rys. 5. Udział procentowy profili wzorcowych w województwie lubelskim, w których odnotowano spadek lub wzrost zawartości materii organicznej, w zależności od odczynu gleby (kolor zielony – przyrost zawartości materii organicznej, kolor pomarańczowy – spadek zawartości materii organicznej)

Źródło: opracowanie własne

### Wyjaśnienie wpływu rolnictwa na wieloletnie zmiany zawartości materii organicznej

W celu wyjaśnienia wpływu historycznych zmian w rolnictwie na zmiany zawartości materii organicznej w glebach zastosowano modelowanie z wykorzystaniem modelu RothC. Na obszarze testowym, będącym częścią województwa dolnośląskiego, wykorzystano dane wyjściowe z profili wzorcowych oraz ponowne pomiary w tych samych lokalizacjach w okresie 2010–2013. Uzupełnieniem bazy danych o właściwościach fizycznych i chemicznych gleb była baza danych o warunkach siedliskowych w miejscach pobrania próbek, w tym wysokości opadów atmosferycznych, średniej temperatury powietrza, głębokości zalegania wód gruntowych oraz numeryczny model terenu dający informację o ukształtowaniu powierzchni i rzeźbie terenu. Dane te pozwoliły określić wpływ czynników naturalnych na zawartość materii organicznej w konkretnych punktach. Źródłem danych o rolnictwie były informacje pozyskane z Głównego Urzędu Statystycznego pochodzące ze spisów rolnych oraz spisów powszechnych. Zebrane dane dotyczyły struktury gospodarstw, pogłównia zwierząt gospodarskich, struktury zasiewów, wysokości plonów oraz nawożenia z okresu 1960–2013 w seriach co 8–10 lat. Kierunek produkcji na badanym obszarze w tym okresie uległ istotnej zmianie z produkcji mieszanej, z dużym udziałem produkcji zwierzęcej, na wysokospecjalistyczną produkcję roślinną (tab. 3).



Tabela 3

Charakterystyka rolnictwa na obszarze testowym woj. dolnośląskiego w latach 1969 i 2010

1969	2010
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rolnictwo mieszane z elementami produkcji zwierzęcej w niemal każdym gospodarstwie</li> <li>• Pogłowie zwierząt na poziomie ok. 80LU/100 ha UR oraz znaczne dawki obornika</li> <li>• Trwałe użytki zielone – 13% UR</li> <li>• Rośliny pastewne – 14% GO</li> <li>• Bobowate i trawy – 9% GO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Specjalistyczna produkcja roślinna</li> <li>• Większość gospodarstw bez produkcji zwierzęcej (pogłowie zwierząt 14LU/100 ha UR) i nawożenia obornikiem</li> <li>• Trwałe użytki zielone – 5,6% UR</li> <li>• Rośliny pastewne – 1,8% GO</li> <li>• Bobowate i trawy – 9% GO</li> </ul>

Źródło: Kaczyński i in., 2017 (5)

RothC to jeden z najlepiej znanych modeli wykorzystywanych do badania dynamiki węgla w glebach, również w relacji do zmieniających się warunków klimatycznych, siedliskowych i agronomicznych. Model został uruchomiony dla 94 lokalizacji o znanej początkowej zawartości węgla w glebie na badanym obszarze. W modelowaniu oceniono scenariusz rozwoju rolnictwa w regionie odzwierciedlający odnotowane zmiany w rolnictwie, a mianowicie powolne przechodzenie na wyspecjalizowaną i intensywniejszą produkcję wraz z postępującym upraszczaniem płodozmianu i spadkiem pogłowia zwierząt wpływającym na spadek nawożenia obornikiem. Punktem wyjścia dla modelowania była sytuacja w 1960 r. z mieszanym systemem produkcji rolnej (współistniejąca produkcja roślinna i zwierzęca), niską intensywnością i zróżnicowanym płodozmianem (5).

Wyniki modelowania wskazują, że w latach 1960–2013 akumulację węgla obserwowano prawie we wszystkich lokalizacjach obszaru charakteryzującego się jego niską początkową zawartością, natomiast trend ten nie był widoczny w glebach o wysokiej zawartości początkowej węgla. Gleby ubogie w węgiel wykazywały stałą jego akumulację w całym okresie 1971–2013 z wyższą intensywnością akumulacji od początku lat 90. XX w. Z kolei na glebach początkowo zasobnych w węgiel w tym samym okresie stwierdzono jego utratę. Spadek ten był raczej stały w latach 1971–2000, podczas gdy intensyfikacja produkcji roślinnej po 2000 roku zatrzymała tę negatywną tendencję i zrównoważyła bilans węgla w glebie (5).

W przypadku województwa dolnośląskiego prawdopodobną przyczyną obserwowanej akumulacji SOC w wielu lokalizacjach był duży udział resztek roślinnych, zwłaszcza słomy zbóż, rzepaku i kukurydzy uprawianej na ziarno, w bilansie materii organicznej. Po transformacji gospodarczej w Polsce w 1990 roku gospodarstwa prywatne przeszły na produkcję roślinną, stąd duży udział w strukturze zasiewów miały kukurydza i rzepak. W sprzyjających warunkach

glebowo-klimatycznych rośliny te osiągały wysokie plony, pozostawiając na polu znaczne ilości słomy, która przy bardzo małej obsadzie zwierząt była prawie w całości pozostawiana na polu. W tabeli 4 przedstawiono przeciętny dopływ węgla z resztkami roślinnymi oraz obornikiem na 1 hektar gruntów ornych na badanym obszarze testowym, ocenione na podstawie danych o rolnictwie. Wyniki wskazują, że pomimo znacznego ograniczenia nawożenia obornikiem całkowity przychód węgla do gleby zwiększył się w wyniku zdecydowanego wzrostu plonu i ilości pozostawianych resztek poźniwnych (5).

Tabela 4

Zmiany średnich ilości węgla wprowadzanych do gleby z resztkami roślinnymi oraz obornikiem w latach 1960–2010 na obszarze testowym

Rok	Średni plon zbóż	C wnoszony z resztkami roślin	C wnoszony z obornikiem
	Mg·ha <sup>-1</sup>		
1960	2,15	0,71	0,34
1969	2,84	0,81	0,44
1979	4,03	0,81	0,55
1989	4,08	0,95	0,36
1996	3,97	1,28	0,19
2002	4,30	1,56	0,12
2010	5,16	1,78	0,07

Źródło: Kaczyński i in., 2017 (5)

### **Stály monitoring zawartości materii organicznej w glebach użytkowanych rolniczo**

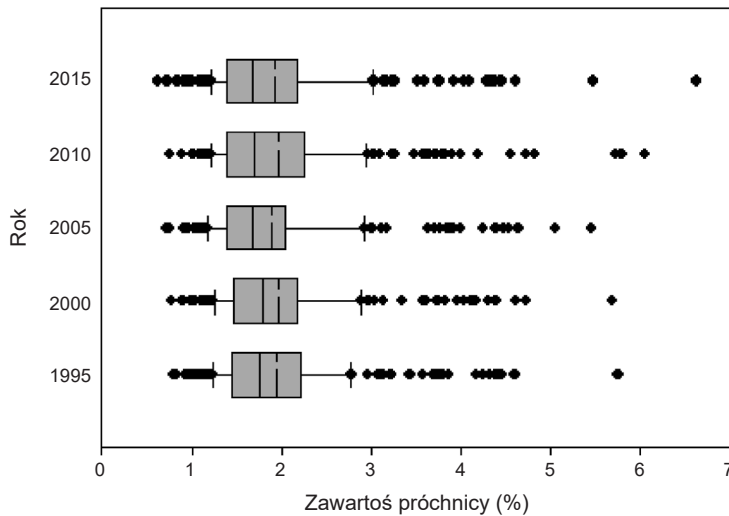
Monitoring chemizmu gleb ornych Polski stanowi podsystem Państwowego Monitoringu Środowiska w zakresie jakości gleb i ziemi. Celem badań jest obserwacja zmian szerokiego zakresu cech gleb użytkowanych rolniczo, szczególnie właściwości chemicznych, zachodzących w określonych przedziałach czasu pod wpływem rolniczej i pozarolniczej działalności człowieka. Monitoring chemizmu gleb użytkowanych rolniczo w Polsce jest realizowany od roku 1995. W 5-letnich odstępach czasowych pobierane i analizowane są próbki glebowe, reprezentujące 216 stałych punktów kontrolnych zlokalizowanych w całym kraju (rys. 6) (10).

W roku 2015 średnia zawartość próchnicy wyniosła 1,94% przy medianie 1,68 %, co oznacza, że nie różniła się istotnie w porównaniu z latami 2010 (odpowiednio: 1,97 i 1,70 %) i 2005 (1,90 i 1,67 %) (rys. 7) (14).



Rys. 6. Rozmieszczenie 216 punktów pomiarowo-kontrolnych w Monitoringu chemizmu gleb ornych Polski

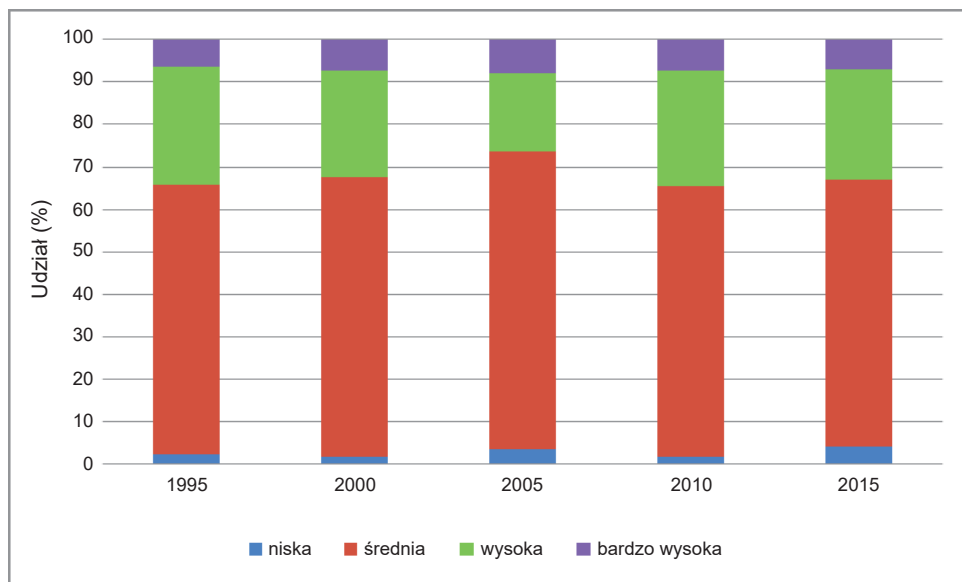
Źródło: Siebielec i in., 2017 (14)



Rys. 7. Rozkład zawartości próchnicy w kolejnych latach Monitoringu chemizmu gleb ornich Polski: linia przerywana – średnia, linia ciągła mediana, prostokąt – dolny i górny kwartył, linie pionowe na zewnątrz prostokątów – 10 i 90 percentyl, kropki – wartości odstające (poniżej 10 i powyżej 90 percentyla)

Źródło: Siebielec i in., 2017 (14)

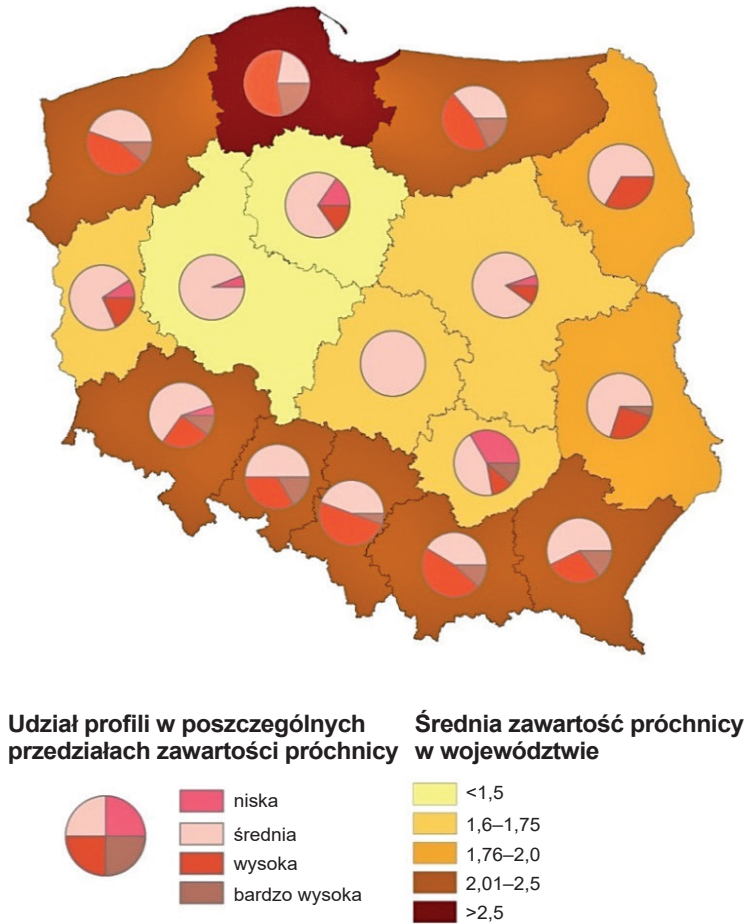
W całej grupie analizowanych punktów przeważały (62,9%) gleby klasyfikowane w przedziale zawartości średniej (1–2%), przy czym udział takich gleb utrzymywał się na względnie stałym poziomie od roku 1995 (rys. 8). Udział profili w poszczególnych klasach zasobności jest względnie stały, co wskazuje na to, że zawartość glebowej materii organicznej jest parametrem zmiennym jedynie w długim okresie czasu.



Rys. 8. Udział profili w klasach zasobności w próchnicę w kolejnych latach Monitoringu chemizmu gleb ornych Polski

Źródło: Siebielec i in., 2017 (14)

Analizując przestrzenną zmienność zawartości próchnicy w województwach, podobnie jak w roku 2010 uwidacznia się strefowość – pasy Polski północnej oraz południowej odznaczają się wyższą średnią zawartością próchnicy, natomiast województwa Polski środkowej – wyraźnie niższą średnią zawartością (rys. 9). Zawartość węgla organicznego jest ściśle skorelowana z zawartością próchnicy, gdyż jego zawartość w próchnicy jest stała i wynosi 58%. Średnia zawartość węgla organicznego w kraju wyniosła 1,12%, a zakres zawartości 0,97–3,84%.



Rys. 9. Przestrzenna zmienność zawartości próchnicy w 2015 roku na podstawie statystyk dla województw wg Monitoringu chemizmu gleb ornych Polski

Źródło: Siebielec i in., 2017 (14)

Badania wieloletnich zmian zawartości materii organicznej w profilach wzorcowych wykonano w ramach projektu NCN „Wyjaśnienie wpływu zmian w rolnictwie na poziom zawartości węgla organicznego w glebie w ujęciu przestrzennym z wykorzystaniem modelu RothC”, nr projektu 2016/21/N/ST10/02649.

## Literatura

1. Bień J.: Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych metodami termicznymi. Inżynieria i Ochrona Środowiska, 2012, **15(4)**: 439-449.
2. Czekąła W., Pilarski K., Dach J., Janczak D., Szymańska M.: Analiza możliwości zagospodarowania pofermentu z biogazowni. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2012, **4**: 13-15.
3. Guo T., Lou C., Zhai W., Tang X., Hashmi M.Z., Murtaza R., Li Y., Liu X., Xu J.: Increased occurrence of heavy metals, antibiotics and resistance genes in surface soil after long-term application of manure. *Sci. Total Environ.*, 2018, **635**: 995-1003.
4. Jankowski K., Czełuściński W., Jankowska J., Sosnowski J.: Oddziaływanie zróżnicowanych dawek odpadu popieczarkowego na zadarnienie muraw trawnikowych. *Fragm. Agron.*, 2012, **29(3)**: 45-53.
5. Kaczyński R., Siebielec G., Hanegraaf M.C., Korevaar H.: Modelling soil carbon trends for agriculture development scenarios at regional level. *Geoderma*, 2017, **286**: 104-115.
6. Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej. Warszawa 2002, ss. 96.
7. Kucharczak K., Stępień W., Gworek B.: Kompostowanie odpadów komunalnych jako metoda odzysku substancji organicznej. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 2010, **42**: 240-254.
8. Majchrowska-Safaryan A., Tkaczuk C.: Możliwość wykorzystania podłoża do produkcji pieczarki w nawożeniu gleb jako jeden ze sposobów jego utylizacji. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2013, **58(4)**: 57-62.
9. Milosević N.A., Marinković J.B., Tintor B.B.: Mitigating abiotic stress in crop plants by microorganisms. *Proc. Nat. Sci. Matica Serpska Novi Sad*, 2012, **123**: 17-26.
10. Siebielec G.: Stały monitoring gleb użytków rolnych Polski. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, **51(5)**: 57-72.
11. Siebielec G.: Dobre praktyki rolnicze w zarządzaniu strukturą gleby i rodzajem uprawy w celu ograniczenia strat substancji nawozowych. W: *Zrównoważone rolnictwo w służbie bioróżnorodności*. Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa, Warszawa, 2019, s. 85-90.
12. Siebielec G., Jadczyzsyn T., Klimkowicz-Pawlas A., Mroczkowski W., Niedźwiecki J., Suszek-Łopatka B.: Raport końcowy z tematu badawczego Nr 2.23 pt. Ocena środowiskowych skutków stosowania osadów ściekowych. IUNG-PIB Puławy, 2015, ss. 32.
13. Siebielec G., Siebielec S., Lipski D.: Long-term impact of sewage sludge, digestate and mineral fertilizers on plant yield and soil biological activity. *J. Clean. Prod.*, 2018, **187**: 372-379.
14. Siebielec G., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Kowalik M., Kaczyński R., Koza P., Ukalska-Jaruga A., Łysiak M., Wójtowicz U., Poręba L., Chabros E.: Raport z III etapu realizacji zamówienia „Monitoring Chemizmu Gleb Ornych w Polsce w latach 2015–2017. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, IUNG-PIB, 2017, ss. 194.
15. Siebielec G., Stuczynski T.: Metale śladowe w komunalnych osadach ściekowych wytwarzanych w Polsce. *Proceedings of ECOpole*, 2008, **2**: 479-484.
16. Smith P., Powlson D.S., Glendining M.J., Smith J.U.: Preliminary estimates of the potential for carbon mitigation in European soils through no-till farming. *Glob. Change Biol.*, 1998, **4**: 679-685.
17. Smreczak B., Jadczyzsyn J.: Badania właściwości gleb użytkowanych rolniczo w latach 1992-1997 i ich wykorzystanie w ocenach rolniczej przestrzeni produkcyjnej. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, **51(5)**: 41-56.
18. Terelak H., Motowicka-Terelak T., Wróblewska E., Gawrysiak L., Pietruch C.: Mapa zawartości substancji organicznej w glebach użytków rolniczych Polski. IUNG Puławy, 2001.
19. Zdanowicz T.: Raport o oddziaływaniu planowanego przedsięwzięcia na środowisko. Przedsięwzięcie: Modernizacja Ośrodka Pstrągowego „Kamień-Jutrzenka”, 2001.

Adres do korespondencji:

*dr hab. Grzegorz Siebielec, prof. IUNG-PIB  
Zakład Gleboznawstwa Eroзии i Ochrony Gruntów  
IUNG-PIB  
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy  
tel. 81 47 86 910  
email: [gs@iung.pulawy.pl](mailto:gs@iung.pulawy.pl)*

---

AUTOR	ORCID
Grzegorz Siebielec	0000-0001-8089-6123
Artur Łopatka	0000-0002-6977-4464
Bożena Smreczak	0000-0001-8972-8636
Radosław Kaczyński	0000-0002-2427-9099
Sylwia Siebielec	0000-0001-9516-1939
Piotr Koza	0000-0002-0243-7631
Jacek Dach	0000-0002-3162-1198

**Bożena Smreczak, Piotr Ochal, Grzegorz Siebielec**

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

## WPLYW ZAKWASZENIA NA FUNKCJE GLEB ORAZ WYZNACZANIE OBSZARÓW RYZYKA NA UŻYTKACH ROLNYCH W POLSCE\*

**Słowa kluczowe:** gleby, funkcje gleb, zakwaszenie, degradacja chemiczna gleb, zagrożenie dla funkcji gleb, obszary ryzyka

### Wstęp

Badania odczynu gleb na użytkach rolnych kraju są prowadzone od kilku dziesięcioleci, ponieważ kwaśny odczyn gleb wpływa niekorzystnie na ich właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne oraz ogranicza efektywność plonotwórczą nawozów azotowych. Konsekwencją zakwaszania się gleb użytkowanych rolniczo jest obniżanie plonów i ograniczanie uprawy cennych gatunków roślin (5, 12, 20). Zakwaszenie wpływa także pośrednio na przebieg wielu procesów zachodzących w glebach, w tym przemian materii organicznej (MOG), związków azotu (N), fosforu (P) i potasu (K), powoduje zmniejszenie trwałości agregatów glebowych oraz zmniejszenie poziomu wysycenia kompleksu sorpcyjnego jonami o charakterze zasadowym (1, 8, 16, 17, 19).

Analiza stopnia zakwaszenia gleb obejmuje oznaczenia kwasowości czynnej, wymiennej oraz hydrolitycznej, oznaczanych odpowiednio w zawiesinie gleby w wodzie destylowanej – pH<sub>w</sub>, w 1 mol·dm<sup>-3</sup> roztworze chlorku potasu – pH<sub>KCl</sub> oraz w zasadowym (pH = 8,2) roztworze octanu wapnia ((CH<sub>3</sub>COOH)<sub>2</sub>Ca) – pH<sub>h</sub> (2). Wartości pH oznaczane w zawiesinie gleby traktowanej odpowiednimi roztworami odpowiadają: stężeniu jonów wodoru (H<sup>+</sup>) obecnych w roztworze glebowym – pH<sub>w</sub>, stężeniu jonów wodoru i glinu (Al<sup>3+</sup>) obecnych w roztworze glebowym i zasorbowanych przez kompleks sorpcyjny – pH<sub>KCl</sub> oraz stężeniu jonów H<sup>+</sup> oraz Al<sup>3+</sup> silnie związanych przez kompleks sorpcyjny gleby – pH<sub>h</sub> (2).

W praktyce rolniczej ustalenie odczynu gleby dotyczy przede wszystkim warstwy orno-próchnicznej, natomiast w niewielkim stopniu analizy te wykonywane są dla poziomów głębszych, z których korzenie roślin uprawnych czerpią składniki

\* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.



pokarmowe i gdzie mogą być narażone na toksyczne oddziaływanie jonów żelaza ( $\text{Fe}^{+2}$ ), manganu ( $\text{Mn}^{+2}$ ) i glinu obecnych w roztworze glebowym (12).

Problem zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo był sygnalizowany w krajowej literaturze naukowej od lat 80. XX w. (12). Autorzy wskazywali na znaczny udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych na gruntach rolnych kraju (8, 10, 12, 16, 20, 23). Przyczyny tego stanu wiązano z czynnikami naturalnymi oraz antropogenicznymi. Wśród czynników naturalnych były wymieniane: a) rodzaj skały macierzystej gleb, b) rodzaj gospodarki wodnej w glebach powodujący wymywanie jonów o charakterze zasadowym, głównie wapnia ( $\text{Ca}^{2+}$ ) i magnezu ( $\text{Mg}^{2+}$ ), w głąb profilu glebowego oraz c) przemiany związków węgla (C), azotu i siarki (S) oraz wydzielanie przez korzenie roślin i drobnoustroje do roztworu glebowego protonów  $\text{H}^+$  i związków o charakterze kwasów (1, 13, 15, 20). Wśród czynników antropogenicznych nasilających zakwaszenie gleb były wskazywane: a) nadmierna emisja z przemysłu do atmosfery tlenków azotu i tlenków siarki, które w reakcji z wodami opadowymi tworzą tzw. „kwaśne deszcze”, b) deponowanie w glebach niektórych odpadów przemysłowych o charakterze kwasów oraz c) niewłaściwa praktyka rolnicza związana z nadmiernym stosowaniem nawozów azotowych, d) ograniczenie stosowania nawozów wapniowych i e) zmiany użytkowania gruntów, które często powodują szybką mineralizację materii organicznej i spadek pH gleby (6, 7, 9, 20).

Zakwaszenie gleb dotyka coraz większych obszarów użytkowanych rolniczo i nie jest problemem poszczególnych krajów, ale staje się problemem globalnym. Amanullah i in. (1) wskazują, że w skali świata zakwaszeniu uległo około 40% gleb ornich i w najbliższym czasie liczba ta będzie rosła. Na negatywny wpływ zakwaszenia na środowisko glebowe zwraca również uwagę Komisja Europejska. Wskazuje ona, że stanowi ono jedno z największych zagrożeń dla prawidłowego funkcjonowania gleb i niekorzystnie wpływa na usługi ekosystemowe dostarczane przez gleby (11). Jednym z elementów w analizie stopnia zagrożenia degradacją środowiska glebowego jest wyznaczanie tzw. obszarów ryzyka, tj. terenów, na których z dużym prawdopodobieństwem wystąpią skutki negatywne dla prawidłowego funkcjonowania gleb. W procesie delimitacji takich obszarów uwzględnia się wybrane wskaźniki fizyczne, chemiczne i biologiczne. W przypadku zakwaszenia przyjmuje się odpowiednie wartości pH.

Celem pracy jest przedstawienie wpływu zakwaszenia na funkcje gleb użytkowanych rolniczo oraz porównanie powierzchni obszarów ryzyka degradacji gleb ze względu na niski odczyn, wyznaczonych na podstawie danych z lat 1992–1997 oraz 2014 roku z uwzględnieniem wartości  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  oraz  $\text{pH}_w$ . Wyniki przeprowadzonych badań konfrontowano z poglądami różnych autorów przedstawianymi w literaturze.

## Wpływ zakwaszenia na funkcje gleb

Koncepcja „funkcji gleb” została wprowadzona w Europie pod koniec XX wieku i zmieniła spojrzenie na gleby użytkowane rolniczo wskazując na ich rolę nie tylko w dostarczaniu żywności i biomasy dla zaspokajania potrzeb ludzi oraz paszy dla zwierząt (funkcja produkcyjna), ale też na znaczący udział gleb w zmianach i ograniczaniu zmian klimatu (funkcja regulacyjna), krążeniu wody i obiegu pierwiastków (funkcja retencyjna) oraz zapewnieniu siedliska dla organizmów żywych (funkcja siedliskowa) (3, 29, 32). Funkcje pełnione przez gleby są bezpośrednio związane z usługami ekosystemowymi, które określają korzyści dostarczane człowiekowi przez środowisko glebowe, w tym żywność, biomasę, czystą wodę, powierzchnię do budowy infrastruktury i in. (3, 29, 32). Według Vogela i in. (2019), ochrona funkcji gleb jest konieczna, ponieważ nie tylko zapewnia skuteczną realizację Celów Zrównoważonego Rozwoju ONZ przyjętych przez Unię Europejską, ale też ma istotne znaczenie dla funkcjonowania życia na ziemi.

Czynnikiem, który najsilniej wpływa na ograniczenie prawidłowego funkcjonowania gleb użytkowanych rolniczo w Polsce jest zakwaszenie (6, 8, 16, 19). Z dotychczasowych badań wynika, że gleby bardzo kwaśne ( $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 4,5$ ) i kwaśne ( $\text{pH}_{\text{KCl}} 4,6-5,5$ ) stanowią ponad połowę areалу użytków rolnych (5, 6, 8, 19). W niektórych województwach zajmują przeważającą powierzchnię gruntów ornych oraz łąk i pastwisk trwałych (6). Dane te wskazują na potencjalne poważne skutki środowiskowe i ekonomiczne prowadzące nie tylko do ograniczenia właściwego funkcjonowania pól uprawnych, lecz także ekosystemów z nimi sąsiadujących. Grzebiś i in. (2013) wyjaśniają, że możliwe negatywne skutki zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo są nadal niewystarczająco poznane. W procesie interpretacji wyników pomija się szereg ważnych zjawisk, które występują w warunkach niskiego odczynu.

Uzyskiwany plon roślin uprawnych jest bezpośrednim wskaźnikiem funkcji produkcyjnej gleb i zależy m.in. od ich zasobności i sposobu użytkowania. Produkcja rolnicza, w tym długotrwałe stosowanie zwiększonych dawek mineralnych nawozów azotowych, traktowanych jako główny czynnik plonotwórczy, i małe zużycie nawozów wapniowych, których rola przez wielu polskich rolników jest jeszcze w bardzo ograniczony sposób łączona z poprawą plonowania roślin, powoduje zakwaszenie się gleb, nawet tych należących do najwyższych klas użytków rolnych (7, 8, 23). Zbyt niska wartość pH w takich glebach nie tylko powoduje zmniejszenie plonowania roślin, ale też ograniczenie uprawy cennych roślin towarowych, jak: pszenica, burak cukrowy i rzepak (5, 19, 20). Ocena warunków i wyników produkcji rolniczej przeprowadzona przez Filipiak (5) na poziomie gmin wykazała, że w gminach z przewagą gleb o  $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 5,5$  wartości analizowanych wskaźników były istotnie niższe niż na terenach o mniejszym udziale gleb kwaśnych i bardzo kwaśnych.

Ponad 60% krajowych gleb użytkowanych rolniczo to gleby piaszczyste, zaliczane do kategorii agronomicznej gleb bardzo lekkich i gleb lekkich (10, 15). Większość z nich wykazuje małą pojemność sorpcyjną w stosunku do kationów, małą zawartość

ilu koloidalnego oraz słabe zdolności buforowe. Właściwości te nasilają proces zakwaszania się tych gleb. W glebach mineralnych zaliczanych do bardzo kwaśnych i kwaśnych ługowanie jonów  $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{Mg}^{2+}$  wywołuje wzrost stężenia jonów  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  i  $\text{Mn}^{2+}$ , uwalnianych z kompleksu sorpcyjnego. Kationy te reagują z cząsteczkami wody, a w wyniku reakcji hydrolizy wzrasta stężenie  $\text{H}^+$  w roztworze glebowym (2, 17).

Ograniczenia funkcji produkcyjnej gleb użytkowanych rolniczo wynikają nie tylko z nadmiaru niektórych jonów, ale też deficytu składników pokarmowych. W glebach kwaśnych główną przyczyną spadku plonowania roślin uprawnych jest niedobór P, N i molibdenu ( $\text{Mo}^{2+}$ ), który ma szczególne znaczenie dla roślin bobowatych oraz niewystarczająca ilość  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  i  $\text{K}^+$  (1, 6, 13, 17, 19).

Ważnym problemem, na który obecnie w kraju zwraca się mniejszą uwagę, a istotnie wpływającym na funkcję produkcyjną gleb, jest zakwaszenie poziomów zalegających poniżej warstwy orno-próchnicznej. Odkwaszenie tej warstwy jest bardzo trudne, czasochłonne i kosztowane (12, 15). Badania Kerna (12) wykazały, że w krajowych glebach użytkowanych rolniczo występowanie kwaśnego odczynu w warstwach zalegających poniżej 25 cm gleb jest związane m.in. z wiekiem, pochodzeniem oraz uziarnieniem skał macierzystych. Kern (12) wskazał, że do głębokości 150 cm są zakwaszone gleby wytworzone z piasków luźnych i słabo gliniastych, natomiast w mniejszym zakresie z utworów o cięższym składzie granulometrycznym, tj. glin, pyłów, pyłów ilastych, iłów oraz iłów pylastych (grupa granulometryczna odnosi się do nomenklatury stosowanej w legendzie do mapy glebowo rolniczej w skali 1: 25 000). Gleby wykazujące  $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 5,5$  w warstwach: 0–50 cm, 50–100 cm oraz 100–150 cm stanowiły odpowiednio: 61%, 39% oraz 26% użytków rolnych. Wartości te zostały obliczone na podstawie wyników analiz odczynu wykonanych przez stacje chemiczno-rolnicze w próbkach pobranych z 48 000 profili glebowych w latach 1965–1970 oraz wyników analiz odczynu w próbkach pobranych z 20 511 profili charakterystycznych oraz wzorcowych zlokalizowanych na 29 tzw. obszarach przykładowych rozmieszczonych na terenie kraju w sposób reprezentatywny dla głównych złodowaceń (12).

Kunhikrishnan i in. (15) podkreślają, że w warunkach zmian klimatu zakwaszenie warstw podpowierzchniowych w profilu glebowym może też być skutkiem intensywnego nawadniania roślin uprawnych, dlatego zagadnienie to powinno zostać włączone w zakres przyszłych badań naukowych dotyczących degradacji gleb na skutek zakwaszenia.

W glebach użytkowanych rolniczo zachodzi jednocześnie akumulacja i mineralizacja materii organicznej. O tempie tych przemian decyduje nie tylko stosunek C:N, ale również odczyn gleby (15, 17). Zmienne warunki uprawy polowej wpływają na przemiany substancji organicznych i nieorganicznych, a tym samym oddziałują bezpośrednio lub pośrednio na wielkość emisji gazowych charakteryzujących funkcję regulacyjną gleby. Oertel i in. (18) wskazują, że gleby zakwaszone emitują mniej gazów cieplarnianych. W warunkach kwaśnego odczynu występuje ograniczenie emisji dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) oraz podtlenku azotu ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Kwaśny odczyn natomiast nie wpływa na emisję metanu ( $\text{CH}_4$ ). W glebach o niskim

pH zostaje ograniczona lub zahamowana aktywność drobnoustrojów uczestniczących w procesie mineralizacji oraz nityfikacji i denityfikacji (18, 20). Na przykład zakwaszenie gleb ogranicza aktywność bakterii nityfikacyjnych, które uczestniczą w procesie utleniania amoniaku do jonu azotanowego (III) –  $\text{NO}_2^-$  a następnie jonu azotanowego (V) –  $\text{NO}_3^-$  (18). Ograniczone tempo przemian  $\text{NO}_2^-$  do  $\text{NO}_3^-$  wpływa pośrednio na zwiększenie tempa redukcji  $\text{NO}_2^-$  do  $\text{N}_2\text{O}$ , co powoduje zwiększoną emisję tlenu azotu z gleb (4, 23). W przemianach N w glebach kwaśnych uczestniczą bakterie chemoautotroficzne, które w warunkach beztlenowych prowadzą przemiany materii organicznej oraz wykorzystują tlen zawarty w  $\text{NO}_3^-$  jako akceptor elektronów. Produktami reakcji denityfikacji są: tlenek azotu (NO), podtlenek azotu ( $\text{N}_2\text{O}$ ) i azot cząsteczkowy ( $\text{N}_2$ ). W trakcie reakcji denityfikacji do roztworu glebowego uwalniane są również protony  $\text{H}^+$ , które dodatkowo powodują zakwaszanie się gleb, a reagując na przykład z węglanem wapnia stosowanym do odkwaszania gleb, wpływają na zwiększenie emisji  $\text{CO}_2$  (4).

W ocenie jakości środowiska glebowego ważną rolę odgrywają zdolność sorpcyjna gleb oraz stopień wysycenia gleby kationami zasadowymi, związane z jego funkcją retencyjną. Dla mineralnych gleb uprawnych przyjmuje się, że przy  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  w zakresie 5,0–6,0 wysycenie kompleksu sorpcyjnego jonami o charakterze zasadowym wynosi około 50%, natomiast w glebach o  $\text{pH} < 4,5$  nie przekracza 25% (2). Brak dwuwartościowych jonów o charakterze zasadowym w kompleksie sorpcyjnym poziomu orno-próchnicznego powoduje, że kwasy próchnicowe powstające w trakcie przemian materii organicznej nie ulegają zobojętnieniu i koagulacji, dlatego dodatkowo zakwaszają gleby. W warunkach kwaśnego odczynu następuje również rozkład pierwotnych minerałów ilastych ( $< 0,002$  mm), a część substancji powstałych w wyniku tego procesu zostaje przemieszczona do głębszych warstw gleby, tworząc poziom wmycia (2).

Gleby kwaśne wykazują bardzo ograniczoną zdolność retencyjną w stosunku do azotanów, które nie podlegają sorpcji fizyczno-chemicznej, ale są zatrzymywane w glebach w wyniku sorpcji biologicznej (1, 17, 20). Azotany (V) bardzo łatwo ulegają wymywaniu z gleb kwaśnych, które dodatkowo ze względu na uziarnienie są przepuszczalne dla wody glebowej. Wysokie stężenia azotanów (V) powodują negatywne skutki środowiskowe i eutrofizację ekosystemów wodnych (1, 15, 17, 20, 28). Ważnym problemem dla praktyki rolniczej jest ograniczona biodostępność i bioprzyswajalność składników pokarmowych w glebach kwaśnych. Na przykład w wyniku chemisorpcji fosforany zostają unieruchomione na powierzchniach tlenków glinu i tlenków żelaza, które w takich warunkach odczynu wykazują ładunki dodatnie. Tego typu oddziaływania wpływają na zwiększoną retencję i wysoką ogólną zawartość P w glebach, przy małej dostępności tego pierwiastka dla roślin i drobnoustrojów. Odwrotne zjawisko jest obserwowane w przypadku niektórych pierwiastków śladowych. W warunkach niskiego pH następuje zwiększenie biodostępności i bioprzyswajalności metali, takich jak: cynk, kadm, miedź czy nikiel. Wysokie stężenia metali w roztworze glebowym skutkują zwiększoną ich akumulacją w częściach użytkowych i jadalnych roślin uprawnych (7, 17).

Wpływ zakwaszenia na funkcję siedliskową gleb przejawia się w ograniczeniu wzrostu i rozwoju większości organizmów żywych, w tym drobnoustrojów, roślin i bezkręgowców. Na przykład w glebach kwaśnych następuje redukcja liczebności bakterii brodawkowych (*Rhizobium*), które uczestniczą w procesach wiązania azotu atmosferycznego przez korzenie roślin bobowatych (15, 17). Większość bakterii uczestniczących w przemianach substancji organicznych w środowisku glebowym jest aktywna w określonym przedziale odczynu (od odczynu lekko kwaśnego do obojętnego). Odczyn bardzo kwaśny i kwaśny powoduje zahamowanie ich aktywności, ponieważ jony metali dostępne w dużych stężeniach w glebach kwaśnych wiążą się z białkami błony cytoplazmatycznej bakterii, zmieniając ich właściwości i przepuszczalność lub białkami enzymatycznymi, powodując ich inaktywację (13, 17). Wzrost zakwaszenia w glebach wywołuje wzrost aktywności drożdży i grzybów (2). Wśród produktów przemian tych mikroorganizmów dominują związki o charakterze kwasów, które zakwaszają środowisko glebowe lub, jak kwas octowy, są toksyczne dla niektórych organizmów żywych (17).

Wysoka koncentracja jonów  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  oraz  $\text{Al}^{3+}$  i  $\text{H}^{+}$  w glebach bardzo kwaśnych i kwaśnych wywołuje również skutki toksyczne dla korzeni roślin uprawnych objawiające się skróceniem długości korzeni oraz zmniejszeniem powierzchni systemu korzeniowego. Zmiany te wpływają na zmniejszenie efektywności pobierania wody i składników pokarmowych, a w konsekwencji zmniejszenie tempa wzrostu roślin (13). Jony  $\text{Al}^{3+}$  i  $\text{Mn}^{2+}$  oraz  $\text{H}^{+}$  konkurują z innymi jonami o miejsca absorpcyjne na korzeniach roślin, wywołując niestabilność błon komórkowych i zaburzenia w pobieraniu oraz transporcie makro- i mikroelementów (17). Niektóre z gatunków roślin uprawnych wykazują mechanizmy tolerancji lub adaptacji do kwaśnego odczynu. W błonach komórkowych korzeni tych roślin stwierdzono zwiększony poziom enzymu  $\text{H}^{+}$ -ATP-azy (13). Zdaniem Kunhikrishnan i in. (15), uprawa nowych odmian i gatunków roślin tolerujących kwaśny odczyn może w zasadzie prowadzić do poprawy funkcji siedliskowej i produkcyjnej gleb. Jednak takie postępowanie może stanowić poważne zagrożenie dla środowiska glebowego ze względu na trwałe zmiany właściwości chemicznych i trudne do przewidzenia skutki dla innych funkcji gleb (15).

Organizmy wyższe, jak na przykład dżdżownice, wykazują większą tolerancję na zmiany odczynu w glebach. Jednak w warunkach bardzo kwaśnego i kwaśnego odczynu spada ich liczebność, a występowanie ogranicza się do poziomu orno-próchniczego.

### **Wyznaczanie obszarów ryzyka na użytkach rolnych w Polsce z uwzględnieniem kryterium $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 5,5$**

Właściwe zarządzanie glebami rolniczymi z uwzględnieniem zachowania ich wielofunkcyjności wymaga analizy czynników i procesów degradujących gleby oraz wyznaczenia obszarów ryzyka, na których występują lub mogą w przyszłości wystąpić zjawiska niekorzystne. W przypadku zakwaszenia, w literaturze podawane są różne

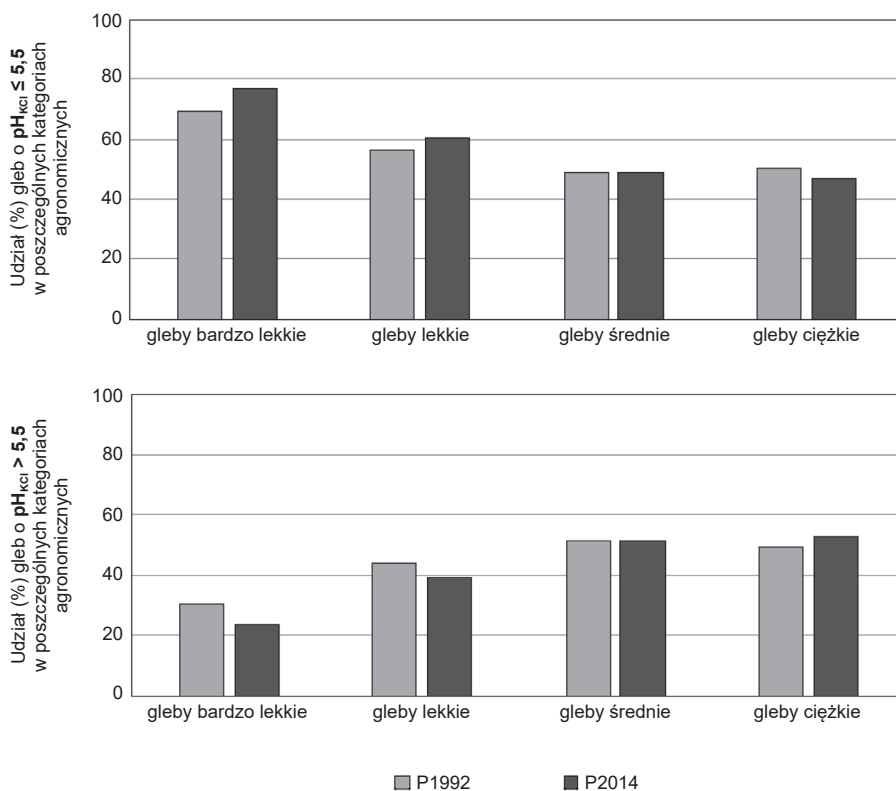
wartości progowe wskazujące na zagrożenia dla funkcji gleb oraz pogorszenie się warunków dla produkcji rolniczej na przykład:  $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 4,5$  (10),  $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 5,5$  (5, 19), czy  $\text{pHw} \leq 5,0$  (25).

W latach 1992–1997 oraz w roku 2014 zostały przeprowadzone w skali kraju badania stanu zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo w warstwie 0–20 cm. Pierwszy z tych programów pn. „Właściwości gleb użytków rolnych i zawartość pierwiastków toksycznych w glebach i roślinach” (P1992) obejmował badania terenowe i analizy właściwości chemicznych gleb i roślin przede wszystkim pod względem zawartości pierwiastków śladowych. Badania te zleciło Ministerstwo Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej (30). Analizy chemiczne wykonywały stacje chemiczno-rolnicze, a nadzór merytoryczny nad programem sprawowali pracownicy Zakładu Gleboznawstwa i Ochrony Gruntów IUNG. Program realizowano w bardzo dużej skali, ponieważ docelowa liczba punktów do badań gleb i roślin miała osiągnąć ponad 45 000 (30).

Drugi cykl badań był realizowany w roku 2014 (P2014), w ramach programu wieloletniego (2011–2015) IUNG-PIB w zadaniu 1.2 „Ocena rolniczych i pozarolniczych zagrożeń dla środowiska glebowego oraz opracowanie sposobów usuwania lub ograniczania skutków degradacji gleb na obszarach wiejskich”. Wykonanie tych badań zleciło Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi w celu rzetelnego i poprawnego wyznaczenia obszarów ONW. Wiązało się to z hipotezą, że postępujący proces zakwaszania się gleb stwarza uzasadnione ryzyko porzucenia ich przez rolników, ale również może prowadzić do utraty różnorodności biologicznej m.in. ze względu na zmianę sposobu użytkowania gruntów. Polska, podobnie jak wiele krajów członkowskich UE, musiała podjąć próby oceny efektów środowiskowych wdrażania działań w ramach PROW 2014–2020 i działania: Płatności dla obszarów z ograniczeniami naturalnymi lub innymi szczególnymi ograniczeniami. Podstawowe znaczenie w tej ocenie miało rozpoznanie stanu wyjściowego i zebranie aktualnych danych o odczynie. W pierwszym etapie prac na użytkach rolnych w kraju zostało zlokalizowanych ponad 50 tys. punktów kontrolnych, wyznaczonych w równomiernej siatce kwadratów. W próbkach gleb pobranych w tych punktach został przeanalizowany m.in. odczyn w wodzie oraz chlorku potasu (21). Program był realizowany wspólnie przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą, okręgowe stacje chemiczno-rolnicze oraz Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów IUNG-PIB.

Porównanie stanu zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo oraz powierzchni obszarów ryzyka po upływie ponad 20 lat przeprowadzono w skali kraju oraz województw. W analizie zostały uwzględnione dwa czynniki, tj. kategoria agronomiczna gleb oraz wartości  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ . Dla kategorii agronomicznej gleb przyjęto podział na: gleby bardzo lekkie, gleby lekkie, gleby średnie i gleby ciężkie, w których zawartość części spławialnych ( $\varphi < 0,02$  mm) wynosiła odpowiednio: 0–10%, 10–20%, 20–35% oraz >35%. Pod względem odczynu gleby zostały podzielone na dwie grupy: gleby bardzo kwaśne i kwaśne o  $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 5,5$ , w których zachodzi ryzyko wystąpienia niekorzystnych skutków środowiskowych oraz gleby o  $\text{pH}_{\text{KCl}} > 5,5$ , w których ryzyko wystąpienia tych zjawisk jest bardzo ograniczone.

Porównanie odczynu gleb w skali kraju wykazało, że w P1992 oraz P2014 gleby bardzo kwaśne i kwaśne ( $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 5,5$ ) stanowiły największy udział procentowy w kategorii gleb bardzo lekkich i gleb lekkich odpowiednio: 70% i 56% (P1992) oraz 77% i 61% (P2014) – rys. 1. W podziałach rolniczych do gleb bardzo lekkich i gleb lekkich zaliczane są gleby, których warstwę orną stanowią piaski. Gleby te ulegają szybkiemu zakwaszeniu ze względu słabe właściwości buforowe spowodowane małą zawartością ładu koloidalnego oraz próchnicy. Są one łatwo przepuszczalne dla wody, dlatego szybciej zachodzi w nich ługowanie jonów o charakterze zasadowym. Wyniki wskazują również na wysoki odsetek (47–50%) gleb średnich oraz gleb ciężkich wykazujących  $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 5,5$ . Kwaśny odczyn gleb gliniastych, gleb pyłowych czy gleb iłowych wynika głównie z właściwości skał macierzystych, na których tworzyły się gleby oraz długotrwałego, naturalnego procesu ługowania węglanów i jonów o charakterze zasadowym na głębokość często poniżej 150 cm. Niewątpliwie czynnikiem przyspieszającym zakwaszenie się gleb o silniejszych właściwościach buforowych jest użytkowanie rolnicze, często skutkujące niewystarczającym wapnowaniem tych gleb (9, 20).



Rys. 1. Porównanie udziału procentowego gleb wykazujących  $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 5,5$  oraz  $\text{pH}_{\text{KCl}} > 5,5$  w poszczególnych kategoriach agronomicznych, na podstawie danych z projektów krajowych z lat 1992–1997 (P1992) oraz z roku 2014 (P2014)

Źródło: opracowanie własne

Analiza statystyczna obejmująca cały zbiór danych nie wykazała istotnych różnic pomiędzy wartościami średnich (5,40 i 5,50) i median (5,30 i 5,4) opisujących  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  odpowiednio w P1992 i P2014. Podobny był również zakres wartości minimalnych i maksymalnych w obu programach: 2,3–8,6 (P1992) oraz 2,1–8,8 (P2014). Dane wskazują, że pomimo uprawy rolniczej oraz naturalnych procesów wpływających na zakwaszanie się gleb, ich stan zakwaszenia w okresie 20 lat nie uległ istotnym zmianom. Siebielec i in. (27) uzyskali odmienne wyniki dotyczące zmian  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  w glebach ornych, których właściwości oraz stan zanieczyszczenia są analizowane w pięcioletnich odstępach czasu, począwszy od 1995 roku. Próbkę gleb do analiz laboratoryjnych w ramach programu „Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce” są pobierane w stałych punktach kontrolnych ( $n = 216$ ). Wyniki tych prac wskazują, że średnia wartość  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  w 2015 roku wynosiła 5,1, wartość mediany – 5,4, a zakres wartości (minimum–maximum) 3,1–7,4 (27). Jak podkreślają Siebielec i in. (27) średnia wartość odczynu w 2015 r. była mniejsza w porównaniu z wartościami uzyskanymi w poprzednich edycjach programu, chociaż różnice te nie były statystycznie istotne. Porównanie wartości średnich dla  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  uzyskanych w 2015 roku w programie Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce wskazuje, że były one odpowiednio o 0,3 oraz 0,4 jednostki pH niższe w porównaniu z P1992 oraz P2014. Rutkowska (23), analizując wyniki badań monitoringowych przeprowadzonych przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze (POSChR) w wybranych gospodarstwach, podaje, że średnia wartość  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  dla analizowanej próby statystycznej w latach 2008, 2012 oraz 2016 wynosiła 5,9. Wartość ta była prawie o pół jednostki pH wyższa od wartości uzyskanych w programach P1992 oraz P2014. Można przypuszczać, że różnice pomiędzy porównywanymi wartościami średnimi (tab. 1) wynikają z większej dbałości o stan odczynu gleb przez rolników, których pola uprawne zostały objęte badaniami realizowanymi przez OSChR-y.

Gleby rolne różnią się wartościami  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  w skali województw. Z badań P1992 oraz P2014 wynika, że średnia wartość  $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 5,5$  charakteryzowała użytki rolne aż w 10 województwach (tab. 1) i lista tych województw nie zmieniła się od 1992 roku. W P1992 obszary ryzyka zajmowane przez gleby bardzo kwaśne i kwaśne stanowiły ponad 70% powierzchni użytków rolnych w województwach: podlaskim (77%), lubuskim (75%) oraz mazowieckim (72%), natomiast w P2014 były to województwa: podkarpackie (76%), małopolskie (74%) i lubuskie (73%) – rys. 2. Średnio w obu programach odsetek gleb kwaśnych i bardzo kwaśnych zajmujących ponad 60% zbioru danych charakteryzował odpowiednio województwa: lubuskie (74%), podkarpackie (71%), podlaskie (71%), mazowieckie (69%) i małopolskie (69%), natomiast najmniejszy (<50%) województwa: kujawsko–pomorskie (33%), opolskie (39%), wielkopolskie (41%) i zachodniopomorskie (45%) – rys. 2.



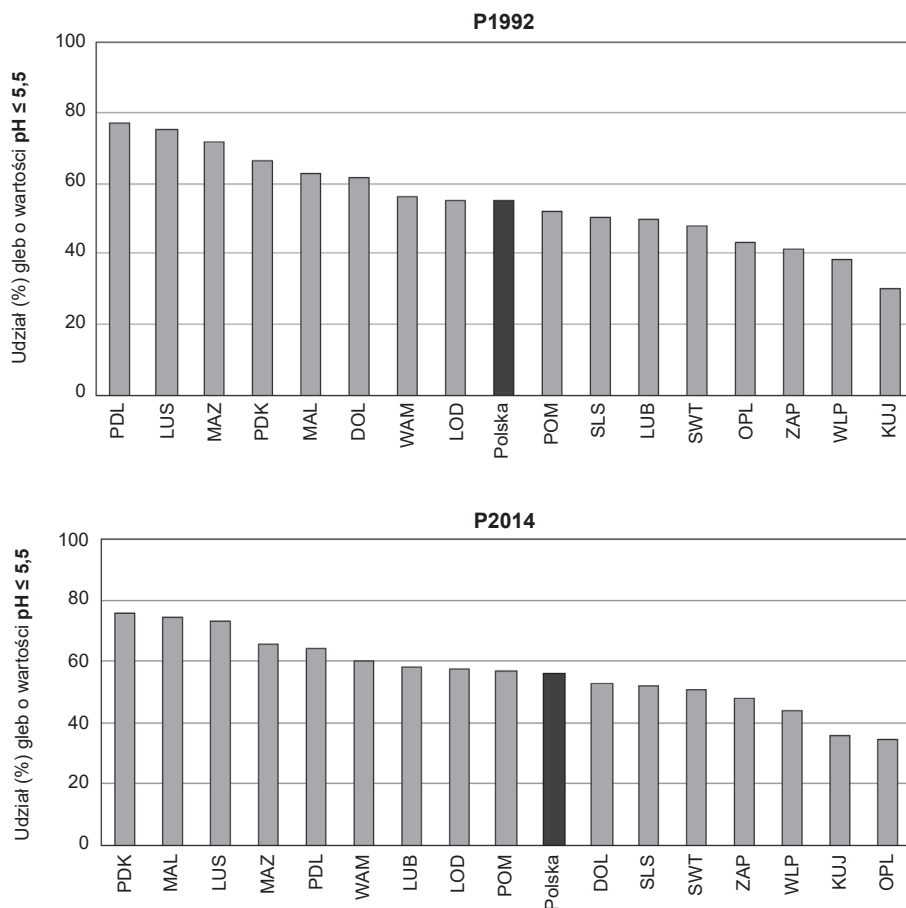
Tabela 1

Porównanie wartości średnich  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  uzyskanych na podstawie badań w trzech programach: P1992, P2014 oraz POSChR

Województwo	Symbol województwa	Program		
		P1992	P2014	POSChR*
Dolnośląskie	DOL	5,3	5,5	5,7
Kujawsko-pomorskie	KUJ	6,1	6,0	6,5
Lubelskie	LUB	5,5	5,4	5,8
Lubuskie	LUS	5,6	5,4	5,9
Łódzkie	LOD	4,9	5,1	5,6
Małopolskie	MAL	5,2	5,0	5,5
Mazowieckie	MAZ	5,0	5,2	5,6
Opolskie	OPL	5,7	5,9	6,2
Podkarpackie	PDK	5,1	5,0	5,8
Podlaskie	PDL	4,8	5,3	5,7
Pomorskie	POM	5,5	5,5	5,9
Śląskie	SLS	5,5	5,5	6,1
Świętokrzyskie	SWT	5,6	5,6	6,2
Warmińsko-mazurskie	WAM	5,4	5,4	5,9
Wielkopolskie	WLP	5,9	5,8	6,1
Zachodniopomorskie	ZAP	5,8	5,7	6,0
POLSKA	-	5,4	5,5	5,9

\*kolorem szarym zaznaczone zostały wartości średnie  $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 5,5$

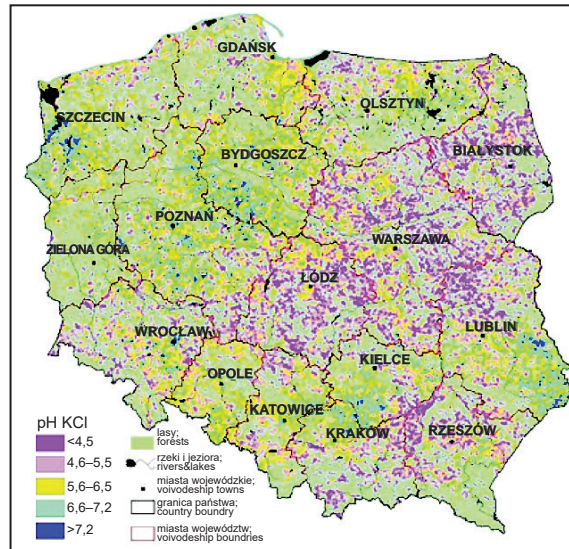
Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem danych Rutkowskiej, 2018 (23)



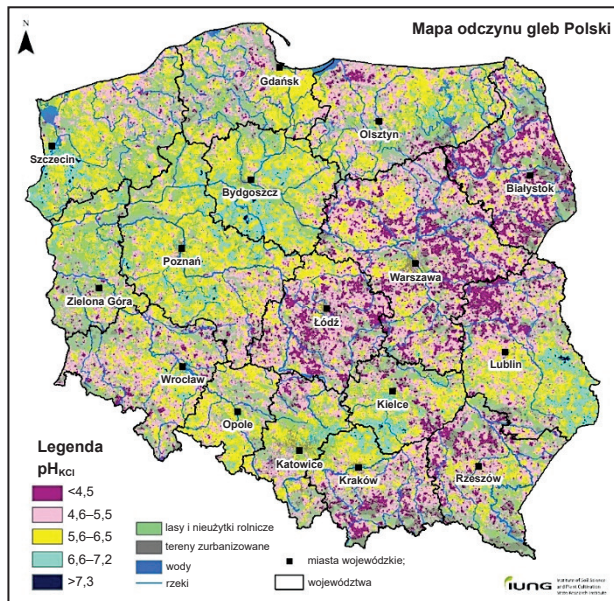
Rys. 2. Udział procentowy gleb wykazujących  $pH_{KCl} \leq 5,5$  w skali województw, w programach P1992 oraz P2014

Źródło: opracowanie własne

Odwzorowanie przestrzenne wyników badań odczynu gleb przeprowadzonych w skali kraju w latach 1992–1997 oraz w roku 2014 przedstawiają rysunki 3 i 4. Obszary ryzyka, na których występują gleby bardzo kwaśne i kwaśne koncentrują się głównie w pasie Nizin Środkowopolskich, Podkarpaciu Północnym i Zewnętrznych Karpatach Zachodnich oraz na Wyżynie Małopolskiej i częściowo na Pobrzeżach Południowo- i Wschodniobałtyckim oraz na Pojezierzu Wschodniobałtyckim (14).



Rys. 3. Mapa odczynu ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ) gleb Polski opracowana na podstawie danych z lat 1992–1997  
 Źródło Terelak i in. 2001 (31)



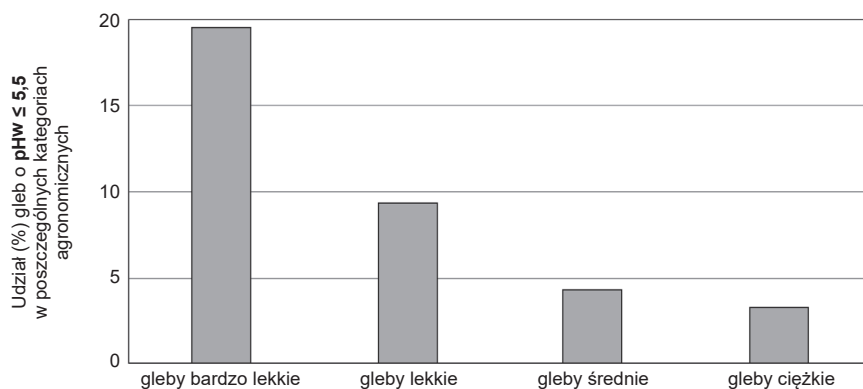
Rys. 4. Mapa ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ) odczynu gleb Polski opracowana na podstawie danych z roku 2014  
 Źródło opracowanie własne

Z prezentowanych badań wynika, że około 57% użytków rolnych kraju (rys. 2) wykazuje  $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 5,5$ . Użytki rolne według danych GUS z 2017 r. zajmowały obszar około 14 620 tys. ha (24). Z szacunków wynika, że obszary ryzyka związanego z degradacją gleb ze względu na bardzo kwaśny i kwaśny odczyn na użytkach rolnych zajmują powierzchnię ponad 8 333 tys. ha. Wyniki te jednoznacznie wskazują na konieczność wprowadzenia działań zaradczych uwzględniających wapnowanie tych gleb. W odpowiedzi na istniejący problem, w 2019 r. rozpoczęto realizację programu pn. „Ogólnopolski program środowiskowej regeneracji gleb poprzez ich wapnowanie”, dzięki któremu rolnicy uzyskują wsparcie na zakup nawozów wapniowych. Więcej szczegółów o tym programie znajduje się na stronie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi (22).

### **Wyznaczanie obszarów ryzyka na użytkach rolnych w Polsce z uwzględnieniem kryterium $\text{pHw} \leq 5,0$**

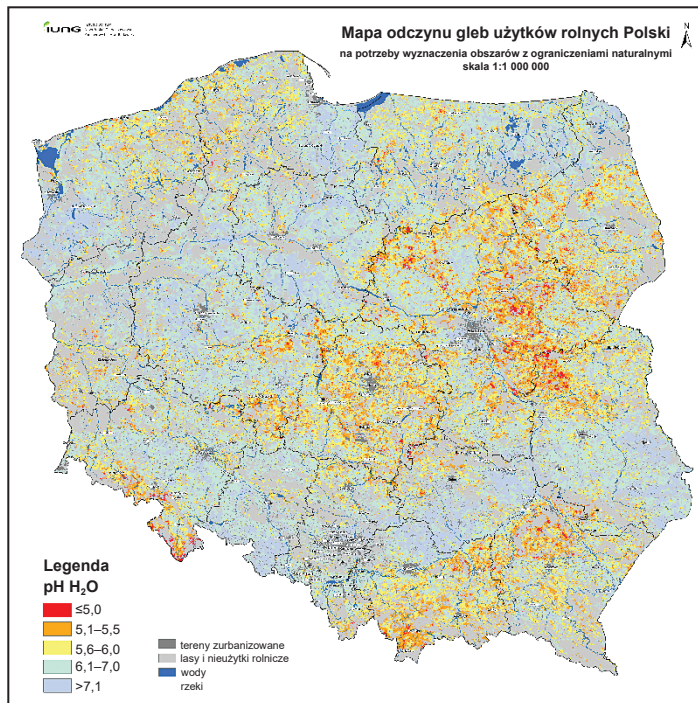
W grudniu 2013 r. ukazało się Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1305/2013 z dnia 17 grudnia 2013 r. w sprawie wsparcia rozwoju obszarów wiejskich przez Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich (EFRROW) i uchylające rozporządzenie Rady (WE) nr 1698/2005 (25). W rozporządzeniu (25) zostało przedstawione nowe podejście do wyznaczenia obszarów z ograniczeniami naturalnymi oraz zostały wskazane kryteria biofizyczne (tj. niska temperatura, suchość, nadmierna wilgotność gleby, ograniczony drenaż gleby, niekorzystna struktura i kamienistość gleby, ograniczona głębokość ukorzenienia, niekorzystne właściwości chemiczne, duże nachylenie terenu), które miały definiować potencjał produkcyjny przestrzeni rolniczej UE (26). Jednym z tych kryteriów było  $\text{pHw} \leq 5,0$  (wyrażające kwasowość aktualną) występujące w wierzchniej warstwie gleby. Wartość ta odpowiada w przybliżeniu wartości  $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 4,0$  i wskazuje na bardzo kwaśny odczyn gleb. Próbkę glebowe do badań  $\text{pHw}$  były pobierane przez pracowników OSChR-ów z warstwy powierzchniowej (0–20 cm) gleb użytkowanych rolniczo. Analizy  $\text{pHw}$  w próbkach glebowych były prowadzone zgodnie z procedurami obowiązującymi w okręgowych stacjach chemiczno-rolniczych i polską normą PN-ISO 10390:1997 (21).

Wyniki wskazują, że kryterium  $\text{pHw} \leq 5,0$  w wierzchniej warstwie gleby spełnia tylko 8% użytków rolnych w kraju, tj. około 1200 tys. ha (rys. 5), co w zestawieniu z powierzchnią wydzieloną na podstawie kryterium  $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 5,5$  stanowi 7 razy mniejszy obszar występowania zagrożeń dla funkcji gleb. Największy udział gleb wykazujących  $\text{pHw} \leq 5,0$  stwierdzono w kategorii gleb bardzo lekkich i lekkich (odpowiednio: 19% i 9%), natomiast w glebach zaliczanych do średnich i ciężkich nie przekracza 4,5% – rys. 5



Rys. 5. Udział procentowy gleb wykazujących  $\text{pH}_w \leq 5,0$  w odniesieniu do kategorii agronomicznych  
Źródło opracowanie własne

Największy udział procentowy gleb wykazujących kwaśny odczyn i skrajnie niekorzystne warunki do produkcji rolniczej występują w województwach: mazowieckim (13%), łódzkim (12%), podlaskim (12%), małopolskim (9%) i warmińsko-mazurskim (8%), natomiast najmniejszy (>5%) w województwach: opolskim, kujawsko-pomorskim i pomorskim (rys. 6).



Rys. 6. Przestrzenne rozmieszczenie użytków rolnych spełniających kryterium  $\text{pH}_w \leq 5,0$   
Źródło: Raport dla MRiRW, 2015 (dane niepublikowane)

## Podsumowanie

Wartość pH jest wskaźnikiem stanu jakości środowiska glebowego oraz wskazuje na prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożeń dla funkcji gleb. Porównanie wyników badań stanu zakwaszenia powierzchniowej warstwy (0–20 cm) gleb użytkowanych rolniczo, w skali kraju w programach badania gleb realizowanych w latach 1992–1997 oraz w 2014 roku nie wykazało istotnych różnic i zasadniczej zmiany odczynu gleb w okresie ponad 20 lat. Oznacza to, że nie zmienił się istotnie obszar występowania ryzyka środowiskowego wyznaczony z zastosowaniem kryterium  $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 5,5$ . Wartość  $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 5,5$  wykazuje ponad 56% gleb na użytkach rolnych, co stanowi ponad 8 mln ha. Największy odsetek gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych utrzymuje się w okresie dwóch dekad w województwach: lubuskim, podkarpackim i podlaskim.

Skrajnie odmienną sytuację wskazuje ocena zakwaszenia gleb z uwzględnieniem kryterium  $\text{pH}_w \leq 5,0$ . Obszar ryzyka wydzielony z zastosowaniem tego kryterium jest prawie 7 razy mniejszy, a główny udział stanowią w nim gleby bardzo lekkie i lekkie zlokalizowane m.in. w województwach mazowieckim, łódzkim i podlaskim. Użytki rolne wykazujące wysoką kwasowość aktualną należy traktować jako najsilniej narażone na degradację chemiczną. Warto zaznaczyć, że obecnie nie dysponujemy dostateczną wiedzą naukową w zakresie oceny ryzyka środowiskowego na takich obszarach oraz informacją, jak i czy intensywne wapnowanie takich gleb wpłynie na ich funkcje oraz usługi ekosystemowe.

Zaprezentowane dane potwierdzają jednoznacznie, że wybór wskaźnika oraz wartości dopuszczalnej dla pH ( $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 5,5$  lub  $\text{pH}_w \leq 5,0$ ) będzie miał istotne znaczenie przy wydzielaniu obszarów zdegradowanych, na których może wystąpić utrata funkcji oraz ograniczenie usług ekosystemowych gleb.

## Literatura

1. Amanullah, Darwish T., Erpul G., Horn R., Nkongolo N., Brajendra, Pierzynski G., DeRuiter P. and Taboada M.: Threats to soils: global trends and perspectives. A Contribution from the Intergovernmental Technical Panel on Soils, Global Soil Partnership Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017, ss. 28.
2. Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojaska U., Prusinkiewicz Z.: Badania ekologiczno-gleboznawcze. PWN, 2005, Warszawa.
3. Blum W.E.H.: Functions of soil for society and environment. Rev. Environ. Sci. Biotechnol., 2005, 4: 75-79. doi: 10.1007/s11157-005-2236-x.
4. Bolan N.S., Adriano D.C. and Curtin D.: Soil acidification and liming interactions with nutrient and heavy metal transformation and bioavailability. Advances in Agronomy, 2003, 78: 215-272.
5. Filipiak K.: Uwarunkowania produkcji rolniczej na obszarach gleb silnie zakwaszonych. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2008, 12: 113-122.
6. Grzebisz W., Szczepaniak W., Diatta J.B.: Środowiskowe skutki zakwaszenia gleb uprawnych. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, 34(8):19-26.
7. Igras J., Kopyński J., Matyka M., Ochali P.: Zużycie nawozów mineralnych w Polsce w układzie regionalnym. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2010, 25: 9-19.

8. J a d c z y s z y n T., O c h a l P.: Zakwaszenie gleb i potrzeby wapnowania. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **34(8)**: 9-18.
9. J a d c z y s z y n T.: Ocena zrównoważenia gospodarki nawozowej w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2012, **29**: 135-142.
10. J a d c z y s z y n J.: Regionalne zróżnicowanie obszarów problemowych rolnictwa (OPR) w Polsce. Wyd. IUNG-PIB Puławy, 2009, P(163) ss. 80.
11. J o n e s A., P a n a g o s P., B a r c e l o S., B o u r a o u i F., B o s c o C., D e w i t t e O., G a r d i C., E r h a r d M., H e r v á s J., H i e d e r e r R., J e f f e r y S., L ü k e w i l l e A., M a r m o l., M o n t a n a r e l l a L., O l a z á b a l C., P e t e r s e n J. E., P e n i z e k V., S t r a s s b u r g e r T., T ó t h G., V a n D e n E e c k h a u t M., V a n L i e d e k e r k e M., V e r h e i j e n F., V i e s t o v a., Y i g i n i Y.: The state of soil in Europe, JRC Reference Reports, 2012, pp. 71.
12. K e r n H.: Odczyn i zawartość węglanu wapnia w glebach użytków rolnych Polski. IUNG, Puławy, 1985 ss. 94.
13. K i d d P. S., P r o c t o r J.: Why plants grow poorly on very acid soils: are ecologists missing the obvious? *Journal of Experimental Botany*, 2001, **52(357)**: 791-799.
14. K o n d r a c k i J.: Geografia regionalna Polski. 2011.
15. K u n h i k r i s h n a n A., T h a n g a r a j a n R., B o l a n N. S., X u Y., M a n d a l S., G l e e s o n D. B., S e s h a d r i B., Z a m a n M., B a r t o n L., T a n g C., L u o J., D a l a l R., D i n g W., K i r k h a m M. B., N a i d u R.: Chapter One – Functional Relationships of Soil Acidification, Liming, and Greenhouse Gas Flux. *Advances in Agronomy*, 2016, **139**: 1-71.
16. L i p i ń s k i W.: Odczyn gleb Polski. *Nawozy i Nawożenie*, 2005, **23**: 33-40.
17. Major effects of soil acidification – Victorian Resources Online; <http://vro.agriculture.vic.gov.au>. Tekst został pobrany 1.10.2020 r.
18. O e r t e l a C., M a t s c h u l l a t a J., Z u r b a a K., Z i m m e r m a n n a F., E r a s m I b S.: Greenhouse gas emissions from soils—A review. *Chemie der Erde*, 2016, **76**: 327-352.
19. O c h a l P., J a d c z y s z y n T., J u r g a B., K o p i ń s k i J., M a t y k a M., M a d e j A., R u t k o w s k a A., S m r e c z a k B., Ł y s i a k M.: Środowiskowe aspekty zakwaszenia gleb w Polsce. Opracowanie w ramach zadania 2.2 w programie wieloletnim IUNG-PIB, 2017, ss. 43.
20. O c h a l P., K o p i ń s k i J.: Wpływ zakwaszenia gleb na środowisko i produkcję roślinną\*. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, **53(7)**: 9-26.
21. PN-ISO 10390: 1997: Jakość gleby – oznaczenie pH.
22. Program wapnowania gleb. <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/dzis-rusza-program-wapnowania-gleb>.
23. R u t k o w s k a A.: Ocena przestrzennego zróżnicowania odczynu gleb w Polsce w latach 2008-2016. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2018, **56(10)**: 9-20.
24. Rocznik Statystyczny Rolnictwa. Powierzchnia użytków rolnych według rodzajów użytków, 2017.
25. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1305/2013 z dnia 17 grudnia 2013 r. w sprawie wsparcia rozwoju obszarów wiejskich przez Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich (EFRROW) i uchylające rozporządzenie Rady (WE) nr 1698/2005. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/pl/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R1305>
26. S i e b i e l e c G., K o z a P., Ł o p a t k a A., S m r e c z a k B., G u b a W., P o m i a n e k B., W a ł u t o B.: Raport techniczny przedstawiający metodologię stosowaną do wyznaczenia obszarów z ograniczeniami naturalnymi w Polsce w oparciu o kryteria biofizyczne. Warszawa, 2017, ss. 65.
27. S i e b i e l e c G., S m r e c z a k B., K l i m k o w i c z P a w ł a S A., K o w a l i k M., K a c z y ń s k i R., K o z a P., U k a l s k a - J a r u g a A., Ł y s i a k M., W ó j t o w i c z U., P o r e b a L., C h a b r o s E.: Raport z III etapu realizacji zamówienia „Monitoring Chemizmu Gleb Ornych Polski w latach 2015-2017” Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, IUNG-PIB, 2017, ss. 194.
28. S k o w r o ń s k a M.: Straty składników z nawozów, 2019. <https://nawozy.eu/wiedza/porady-ekspertow/gleba/straty-skladnikow-z-nawozow.html>.
29. S m r e c z a k B., U k a l s k a - J a r u g a A., Ł y s i a k M., S t r z e l e c k a J., N i e d ź w i e c k i J., S o b i c h D.: Funkcje, jakość i usługi ekosystemowe gleb. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, **54(8)**: 9-23.

- 
30. Smreczak B., Jadczyzyn J.: Badania właściwości gleb użytkowanych rolniczo w latach 1992–1997 i ich wykorzystanie w ocenach rolniczej przestrzeni produkcyjnej. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, (51)5: 41-58.
  31. Terelak H., Piotrowska M., Wróblewska E., Pietruch C.: Odczyn gleb użytków rolnych, IUNG, Puławy, mapa, 2001.
  32. Vogel H.J., Eberhardt E., Franko U., Lang B., Ließ M., Weller U., Wiesmeier M. and Wollschläger U.: Quantitative evaluation of soil functions: Potential and state. *Frontiers in Environmental Science*, 2019, 7: 1-15.

---

Autorzy składają serdeczne podziękowania za współpracę przy realizacji badań stanu zakwaszenia gleb w Polsce Dyrekcji Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej, pracownikom okręgowych stacji chemiczno-rolniczych oraz pracownikom Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi: Waldemarowi Gubie, Bogdanowi Pomiankowi oraz mgr Beacie Wałuto. Badania zostały przeprowadzone w latach 2014–2015 na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, w ramach zadania 1.2 w programie wieloletnim (2006–2010) IUNG-PIB.

---

Adres do korespondencji:

*dr hab. inż. Bożena Smreczak*  
*Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy*  
*tel. 81 4786 918*  
*e-mail: bozenas@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR	ORCID
Bożena Smreczak	0000-0001-8972-8636
Piotr Ochal	0000-0002-5246-3192
Grzegorz Siebielec	0000-0001-8089-6123





**Jan Jadczyzyn, Beata Bartosiewicz**

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

## PROCESY OSUSZANIA I DEGRADACJI GLEB\*

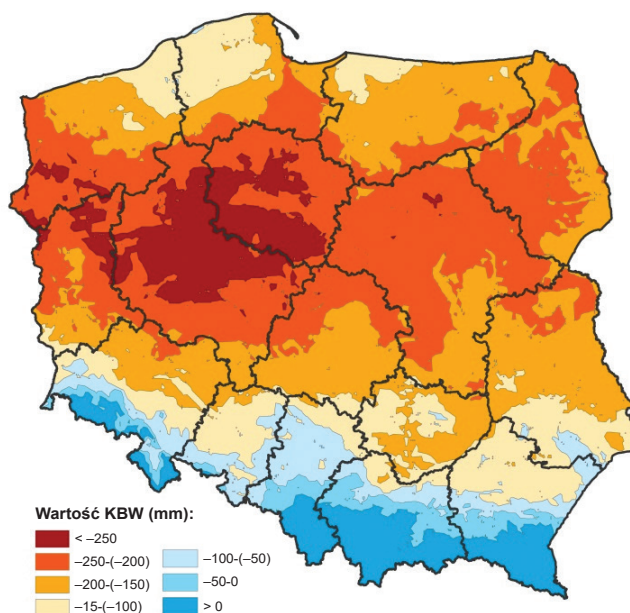
**Słowa kluczowe:** osuszenie, stepowienie, degradacja gleby, gleby organiczne

### Wstęp

Geograficzne położenie Polski warunkuje wpływ olbrzymich połączy wody Oceanu Atlantyckiego z Zachodu i rozległych obszarów lądowych ze Wschodu, które kształtują cechy klimatu umiarkowanego przejściowego. W części zachodniej większe oddziaływanie zaznacza wilgotny klimat morski, a w części wschodniej – suchy klimat kontynentalny (29, 18). Analizując warunki termiczno-wilgotnościowe, obszar Polski zakwalifikowano do klimatyczno-glebowego pasa subboralnego, umiarkowanie ciepłego (1). Charakteryzuje się on roczną sumą średnich temperatur dobowych wyższych od 10°C w zakresie 2000–3800°C. Cechy klimatu umiarkowanego wykazują dużą zmienność opadów i temperatury zarówno w sezonie wegetacyjnym, jak i w poszczególnych latach. Zmienne warunki pogodowe przekładają się na okresowe niedobory wody dostępnej dla roślin w sezonie wegetacyjnym. Na większości obszaru Niżu Polskiego średnia roczna suma opadów jest mniejsza od 550 mm, a lokalnie nawet od 500 mm (5). Niedobór wody w sezonie wegetacyjnym mierzony klimatycznym bilansem wodnym (KBW) od Wielkopolski przez Kujawy, Mazowsze, Podlasie i Lubelszczyznę, aż do wschodniej granicy kraju jest większy niż 200 mm (rys. 1). Występowanie niekorzystnych stosunków wodnych i naturalnego niedoboru wód powierzchniowych na tym obszarze potwierdzają również badania Kleczkowskiego (13). Zmiany klimatyczne obserwowane w ostatnich dwóch dekadach, które objawiają się wyraźnym wzrostem temperatury powietrza oraz występowaniem okresów bezopadowych wiosną, czyli w fazie największego

\* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.5 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

zapotrzebowania roślin na wodę, są czynnikami pogłębiającymi deficyt wody. Analiza warunków agroklimatycznych w ostatnich 50 latach w Polsce uwidoczniła wyraźne zwiększenie deficytu wody w sezonie wegetacyjnym, mierzone klimatycznym bilansem wodnym, co prowadzi do znacznego zwiększenia częstotliwości występowania suszy rolniczej (rys. 1) (4). Większość gleb w Polsce charakteryzuje się opadowym typem gospodarki wodnej i korzysta wyłącznie ze źródła wód opadowych ze względu na zbyt niski, pozostający poza zasięgiem systemu korzeniowego roślin uprawnych poziom wód gruntowych. Naturalnym zbiornikiem retencyjnym wody dla roślin jest gleba, która gromadzi wodę w okresie opadów, roztopów i udostępnia ją w okresach bezopadowych, tzw. okresach posuchy. Możliwości retencionowania wody w glebie zależą od zawartości substancji organicznej oraz udziału frakcji spławialnej i ilastej w całym profilu. Zdecydowana większość gleb mineralnych w Polsce (ponad 60%) wytworzona została z utworów piaszczystych, które mają naturalnie ograniczone możliwości gromadzenia wody i charakteryzują się niską zawartością próchnicy, przeciętnie poniżej 2,0%.



Rys. 1. Klimatyczny bilans wodny (KBW) w okresie wegetacyjnym

Źródło: Kozyra i Górski, 2005 (15)

Pogorszenie stosunków wodnych w glebie na przestrzeni ostatnich dwóch wieków wiąże się z działalnością gospodarczą człowieka. Od początku XIX wieku w Wielkopolsce prowadzono intensywny wyrąb lasów i o jedną trzecią zmniejszono zalesienie (16). Już w XIX wieku zdrenowano i osuszono 85% gruntów ornych na

Kujawach. Likwidowano tereny bagienne, podmokłe i rozlewiska, które zatrzymywały wodę oraz regulowano i prostowano koryta rzek dla potrzeb żeglugi (11, 16). Kolejny etap regulacji stosunków wodnych i osuszania poprzez melioracje i regulacje koryt rzek prowadzono po II wojnie światowej. W 2011 roku w skali kraju melioracjami wodnymi objęto 41,5% użytków rolnych (GUS, 2011). Wszystkie te działania doprowadziły do obniżenia poziomu wód gruntowych, obniżenia lustra wód w jeziorach, a w części do ich całkowitego wyschnięcia (16) oraz znacznie zmniejszyły zasoby wody w środowisku. W następstwie osuszenia znacznych obszarów Polski uruchomione zostały procesy murszowe, które prowadzą do degradacji gleb torfowych i uwalniania do atmosfery w procesie mineralizacji zasobów węgla w nich zgromadzonych. Osuszenie gleb mineralnych zwiększa ich podatność na procesy erozji wodnej i wietrznej i może prowadzić również do mineralizacji próchnicy oraz zmniejszenia jej pojemności wodnej.

Celem pracy jest przedstawienie skali degradacji gleb, szczególnie gleb organicznych w Polsce, zachodzącej na skutek ich osuszenia i mineralizacji substancji organicznej. Autorzy zwracają również uwagę na pilne potrzeby wprowadzenia działań ochronnych zmierzających do zwiększenia retencji wody w środowisku, zwłaszcza na obszarach gleb zmeliorowanych, gleb organicznych objętych procesami murszenia i zagrożonych wysoką częstotliwością występowania suszy rolniczej.

### **Procesy stepowienia i pustynnienia gleb**

W wyniku obniżenia poziomu wód gruntowych i pogorszenia pierwotnych stosunków wodnych rozpoczął się proces odwodnienia, osuszania i degradacji gleb, zwany również procesem stepowienia (16, 12). Według Porębskiej i Sadowskiego (23), proces stepowienia to stopniowe wchodzenie sucholubnej roślinności typowej dla strefy półsuchej i przemiana łąk, pastwisk i zarośli w zbiorowiska trawiaste podobne do stepów; wyraża się też znacznym spadkiem zasobów wodnych, zmniejszaniem plonów, ograniczeniem hodowli z powodu braku paszy itp. oraz rozwojem erozji wietrznej. Stepowienie obserwowane jest obecnie w Wielkopolsce, na Pomorzu, Kujawach i południowo-wschodniej Polsce. Proces pustynnienia jest konsekwencją i dalszym nasileniem niekorzystnych zmian obiegu wody w środowisku i postępującą degradacją gleb, zachodzących w wyniku stepowienia i może zachodzić w sposób ciągły lub okresowy. Wyraża się zmniejszeniem liczby gatunków roślin zasiedlających glebę, zmniejszeniem produkcji biomasy, ubytkiem substancji organicznej w glebie (próchnicy), zmniejszeniem retencji wodnej gleb, zwiększeniem rozpylenia wierzchniej warstwy gleby i nasileniem erozji wietrznej i wodnej (23). Nasilenie procesu pustynnienia może w efekcie prowadzić do utraty wody glebowej, ograniczenia lub całkowitej utraty roślinności i bioróżnorodności w środowisku, znacznego ograniczenia lub całkowitego zahamowania produkcji rolniczej i leśnej. Na obszarach typowo rolniczych w kraju dostrzegane jest również

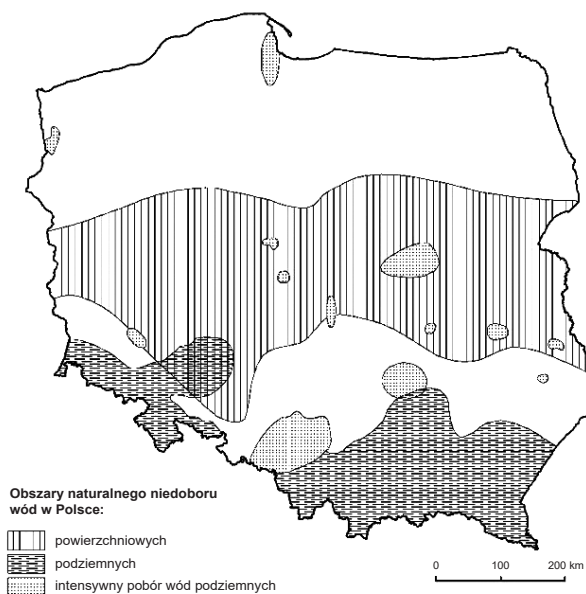
pustynnienie przemysłowe w wyniku nadmiernej eksploatacji zasobów wodnych przez przemysł i urbanizację (23). Polska, przystępując w roku 2002 do Konwencji Narodów Zjednoczonych (UNCCD) w sprawie zwalczania przyczyn oraz skutków susz i pustynnienia, rozpoczęła prace nad oceną niekorzystnych zjawisk w naszym kraju. W wyniku tych prac w roku 2004 ukazał się raport z realizacji Konwencji, z którego wynika, że Polska nie jest dotknięta pustynnieniem w rozumieniu Konwencji, ale są obszary zagrożone erozją wietrzną gleb, głównie w Wielkopolsce (16). Europejski Trybunał Obrachunkowy w sprawozdaniu opracowanym w 2018 roku stwierdził, że pustynnienie i degradacja gruntów stanowią aktualnie rosnące zagrożenia w UE (26). Gorące półpustynie występują już w Europie Południowej, m.in. w południowej Portugalii, Hiszpanii, we Włoszech, a także w Bułgarii i Rumunii, gdzie klimat zmienia się z umiarkowanego na suchy. Proces pustynnienia postępuje dalej na północ Europy (26). Trybunał jednak nie odniósł się do skali rzeczywistej degradacji gleb w wyniku tego zjawiska w poszczególnych krajach członkowskich.

Trwałe obniżenie poziomu wód gruntowych i osuszenie gleby wywołuje cały łańcuch niekorzystnych zjawisk i procesów prowadzących do degradacji środowiska glebowego i krajobrazu wiejskiego. Największe i nieodwracalne zmiany w wyniku osuszenia odnotowuje się w siedlisku gleb organicznych, w typie gleb torfowych (T), torfowo-mułowych i mułowo-torfowych (E). W wyniku napowietrzenia gleby torfowe z fazy akumulacji przechodzą w fazę decesji, a proces torfotwórczy zastąpiony zostaje procesem murszenia (20). Proces murszenia prowadzi do rozwarstwienia profilu gleby torfowej na charakterystyczne dla gleb murszowych poziomy diagnostyczne ( $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ). Rozluźnienie wierzchnich poziomów ( $M_1$ ,  $M_2$ ) zwiększa przepuszczalność i ogranicza podsiąk, co sprzyja ich dalszemu wysychaniu oraz ogranicza retencję. W takich warunkach dochodzi do ługowania składników pokarmowych, zwłaszcza wapnia (21). Inną formą degradacji odwodnionych i rolniczo użytkowanych gleb torfowych jest uwalnianie się azotu mineralnego w formie azotanowej i amonowej oraz wydzielanie dużej ilości  $CO_2$  w wyniku mineralizacji materii organicznej (19). Procesom mineralizacji materii organicznej sprzyja umiarkowana wilgotność gleby organicznej w granicach 60–70% obj. i zawartość powietrza 20–30% obj. (20). W warunkach Polski powierzchnia odwadnianych i użytkowanych gleb torfowych obniża się przeciętnie o 10 mm rocznie, a straty materii organicznej w ciągu roku wynoszą 7–15 t·ha<sup>-1</sup> (20). Proces murszowy jest procesem nieodwracalnym i prowadzi do trwałej degradacji gleb torfowych, utraty nagromadzonej przez tysiące lat materii organicznej. Degradacja gleb organicznych prowadzi do utraty węgla w nich zmagazynowanego, ograniczenia retencji wody i potencjału produkcyjnego oraz trwałych zmian w krajobrazie wiejskim i utraty funkcji ekologicznych. Degradacja gleb mineralnych w wyniku osuszania nie jest tak intensywna jak gleb organicznych. Osuszenie gleb w sposób trwały nasila tempo mineralizacji próchnicy, zmniejsza pojemność wodną i retencji wody w glebie. Ubytek materii organicznej pogarsza właściwości fizykochemiczne, stosunki powietrzno-wodne oraz aktywność biologiczną gleby. Prowadzi do rozpadu agregatów glebowych i korzystnej struktury

gruzelkowatej, przez co zwiększa podatność gleby na procesy erozji wodnej i wietrznej. Gleby mineralne Polski to w 60% gleby bardzo lekkie i lekkie wytworzone z różnego rodzaju piasków (10), zawierające 1–2% materii organicznej (17). Bardzo drobne uziarnienie skały macierzystej jest podstawą klasyfikacji aż 32% gleb ornych do gruntów słabych i bardzo słabych (25). Gleby piaszczyste charakteryzują się bardzo niską zdolnością retencjonowania wody w profilu glebowym i szybciej ulegają przesuszeniu ([www.susza.iung.pulawy.pl](http://www.susza.iung.pulawy.pl)). Zmiany klimatyczne i osuszenie gleb mineralnych w wyniku świadomego odwodnienia mają istotny wpływ na ich właściwości fizykochemiczne, w tym zdolności sorpcyjne i buforowe oraz procesy biologiczne warunkujące wiele przemian określanych mianem aktywności biologicznej (<https://www.eea.europa.eu/>). Każdy wzrost temperatury wiąże się ze zwiększeniem ewaporacji i deficytu wodnego, co w konsekwencji wpływa na zmniejszenie zawartości węgla w glebie (22). Zależność tę potwierdzono w badaniach prowadzonych na gruntach ornych w województwach podlaskim i dolnośląskim (24). Mianowicie, w czasie gdy zaobserwowano podniesienie się średniej rocznej temperatury w stosunku do obserwowanej w poprzednich wieloletniach, odnotowano również statystycznie istotne zmniejszenie się puli węgla w glebie (7). Nasilenie procesu mineralizacji próchnicy powoduje także zmniejszenie pojemności wodnej i retencji wody oraz szereg niekorzystnych zjawisk, tj.: pogorszenie właściwości biologicznych, fizykochemicznych, termicznych oraz stosunków powietrzno-wodnych, które bezpośrednio wpływają na jakość gleb (27). Decydują o warunkach wzrostu, rozwoju i plonowania roślin uprawnych (2). Proces mineralizacji prowadzi także do rozpadu agregatów glebowych, przez co zwiększa podatność gleby na zagęszczanie oraz procesy erozji wodnej i wietrznej.

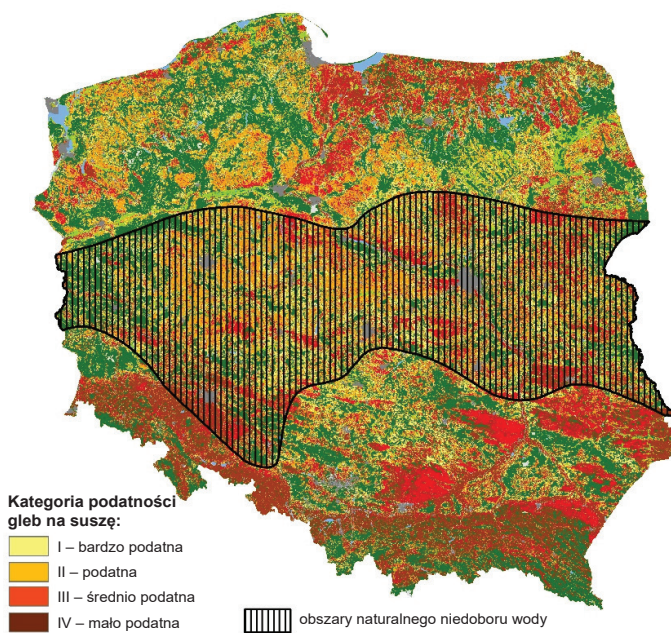
### **Przestrzenna ocena degradacji gleb organicznych i mineralnych w wyniku osuszenia**

Naturalne niedobory wód powierzchniowych w Polsce wg Kleczkowskiego (13) występują na Niżu Polskim i obejmują obszar 112,5 tys. km<sup>2</sup>, co stanowi 36,0% ogólnej powierzchni kraju (rys. 2). Na obszarze z niedoborem wód powierzchniowych występuje zwiększony udział gleb lekkich o małych możliwościach retencyjnych i najbardziej podatnych na suszę rolniczą w skali kraju, co dodatkowo naraża je na procesy degradacji (rys. 3). Udział kategorii I – gleb bardzo podatnych, wynosi 26,0% i jest o 4,6% większy w stosunku do ich udziału w skali kraju, a gleb kategorii II – podatnych na suszę, wynosi 42,8% i jest o 7,2% większy w porównaniu ze średnim udziałem w kraju (tab. 1). Równocześnie, udział gleb kategorii III i IV – średnio i mało podatnych na suszę, jest o 11,8% mniejszy. Występowanie na jednym obszarze dwóch niekorzystnych czynników stymulujących stres wodny roślin uprawnych w postaci zwiększonego naturalnego niedoboru wód powierzchniowych oraz zwiększonego udziału gleb wrażliwych na suszę zwiększa ryzyko występowania suszy rolniczej.



Rys. 2. Obszary naturalnego niedoboru wód w Polsce

Źródło: Kleczkowski, 2001 (13)



Rys. 3. Kategorie podatności gleb na suszę rolniczą na obszarze naturalnego niedoboru wód powierzchniowych

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem mapy obszaru naturalnego niedoboru wód powierzchniowych wykonanej przez Kleczkowskiego, 2001 (13)

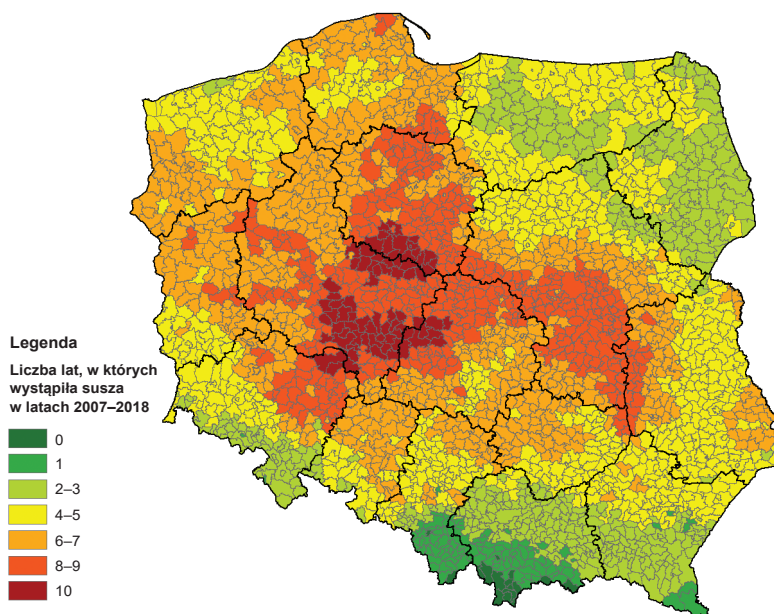
Tabela 1

Udział procentowy kategorii podatności gleb na suszę rolniczą w kraju i w strefie niedoboru wód powierzchniowych

Kategorie podatności gleb na suszę	Udział w skali kraju (%)	Udział w strefie niedoboru wód powierzchniowych (%)	Różnica (%)
	A	B	B – A
I – bardzo podatne	21,4	26,0	4,6
II – podatne	35,6	42,8	7,2
III – średnio podatne	24,2	21,7	-2,5
IV – mało podatne	18,8	9,5	-9,3

Źródło: opracowanie własne na podstawie Mapy kategorii podatności gleb na suszę rolniczą w skali 1:25 000 oraz Mapy naturalnego niedoboru wód w Polsce, red. Kleczkowskiego, 2001 (13)

Wyniki oceny częstotliwości występowania suszy rolniczej realizowanej przez IUNG-PIB zgodnie z kryteriami ustawy o dopłatach do ubezpieczeń upraw rolnych i zwierząt gospodarskich (3) w latach 2007–2018 w Polsce potwierdzają tę zależność. Częstotliwość występowania suszy rolniczej w gminach położonych w strefie Niżu Polskiego jest kilkakrotnie większa w porównaniu z pozostałymi obszarami (rys. 4). W najbardziej wrażliwych gminach susza w analizowanym okresie 12 lat wystąpiła nawet 10-krotnie (4). Tak częste występowanie suszy rolniczej przynosi wymierne straty gospodarcze dla rolnictwa w postaci spadku plonów, zmniejszenia efektywności wykorzystania nawozów mineralnych i zwiększenia kosztów nawadniania upraw.

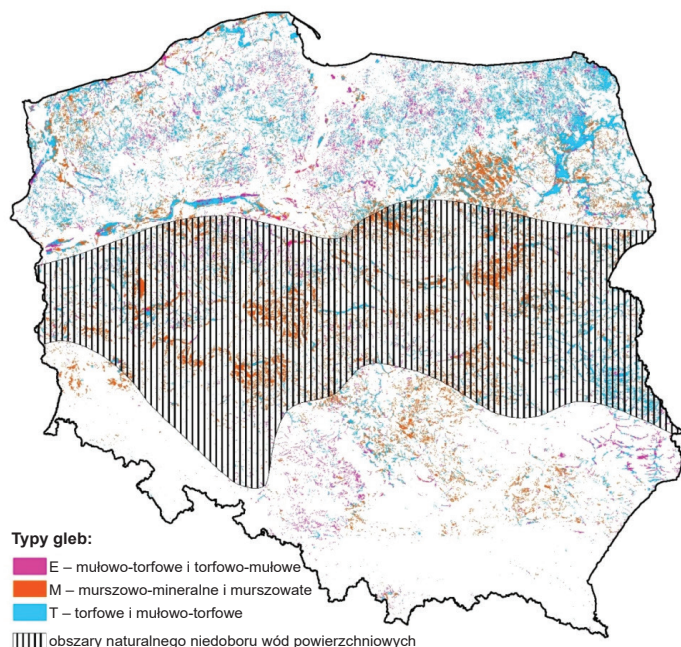


Rys. 4. Liczba lat z suszą rolniczą w latach 2007–2018

Źródło: Koza i in., 2019 (14)



Obniżenie poziomu wód gruntowych i osuszenie gleb torfowych w pasie Niżu Polskiego i na obszarze naturalnego niedoboru wód powierzchniowych w wyniku drenażu i melioracji uruchomiło procesy murszenia. Efekty trwałej degradacji gleb torfowych w wyniku procesów murszenia widoczne są na mapie glebowo-rolniczej (w skali 1:25 000) w postaci zwiększonej powierzchni występowania gleb murszowo-mineralnych i murszowatych (M) i zmniejszonej powierzchni gleb torfowych (T) oraz mułowo-torfowych i torfowo-mułowych (E) (rys. 5). Udział gleb torfowych (T) w strefie niedoboru wód powierzchniowych jest znacznie mniejszy w porównaniu ze średnim ich udziałem w kraju i wynosi odpowiednio: 3,6 i 5,6% (tab. 2). Podobne zjawisko odnotowano w przypadku gleb mułowo-torfowych i torfowo-mułowych (E), których udział wynosi 0,9% przy średnim dla kraju 1,6%. Odwrotne tendencje stwierdzono natomiast w przypadku gleb murszowo-mineralnych i murszowatych (M), których udział wynosi 7,9% i jest o 1,8% większy w porównaniu ze średnim w kraju (tab. 2). Należy podkreślić, że przytoczone dane dotyczące występowania gleb organicznych i pochodzenia organicznego odczytano na mapie glebowo-rolniczej opracowanej w latach 60. XX wieku. Obecnie nie są dostępne w skali całego kraju bardziej aktualne dane dotyczące występowania zasięgów gleb murszowych i murszowatych. Na skutek stałego osuszenia gleb torfowych w ostatnich dekadach i zmian klimatycznych procesy murszenia mogły się jeszcze bardziej nasilić, a zasięgi występowania gleb murszowych i murszowatych mogą być aktualnie jeszcze większe.



Rys. 5. Mapa gleb organicznych i pochodzenia organicznego

Źródło: opracowanie własne na podstawie Mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 oraz Mapy obszaru naturalnego niedoboru wód powierzchniowych wykonanej przez Kleczkowskiego, 2001 (13)

Tabela 2

Udział procentowy gleb organicznych i pochodzenia organicznego w kraju i w strefie niedoboru wód powierzchniowych

Typy gleb	Udział w Polsce (%)	Udział w strefie niedoboru wód powierzchniowych (%)	Różnica (%)
	A	B	B – A
E – mułowo-torfowe i torfowo-mułowe	1,6	0,9	-0,7
M – murszowo-mineralne i murszowate	6,1	7,9	1,8
T – torfowe	5,6	3,6	-2,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie Mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 oraz Mapy naturalnego niedoboru wód w Polsce red. Kleczkowskiego, 2001 (13)

### Podsumowanie i wnioski

Odwodnienie i osuszenie gleb torfowych i mułowo-torfowych wywołuje procesy murszenia i trwałą ich degradację połączoną z mineralizacją substancji organicznej. Brak jest jednak aktualnych danych kartograficznych, aby określić na poziomie kraju intensywność i skalę przekształcania gleb torfowych. Przytoczone dane z lat 60. XX w. wskazują na powszechnie występujące procesy murszenia gleb torfowych w strefie Niżu Polskiego i obszarze niedoboru wód powierzchniowych. W wyniku niekorzystnych zjawisk w siedlisku gleb organicznych znacząco zmniejszają się ich możliwości retencyjne. W wyniku mineralizacji substancji organicznej uwalniane są związki azotu mineralnego, który w formie azotanów stanowi dodatkowe zagrożenie dla wód gruntowych, a do atmosfery uwalniany jest węgiel w postaci CO<sub>2</sub>. Uwalniany na dużą skalę węgiel z gleb organicznych może znacząco przyspieszać zachodzące zmiany klimatyczne. Osuszanie gleb mineralnych również prowadzi do pogorszenia ich właściwości fizykochemicznych, w tym właściwości sorpcyjnych i buforowych oraz aktywności biologicznej gleb. Niekorzystna zmiana stosunków wodnych i nadmierne napowietrzenie gleb zwiększają potencjalne ryzyko mineralizacji próchnicy, przez co ograniczona zostaje retencja wody i zwiększa się ryzyko wystąpienia suszy oraz podatność na zagęszczenie i procesy erozji wodnej i wietrznej. Największe ryzyko degradacji i mineralizacji substancji organicznej występuje na glebach organicznych trwałych użytków zielonych, które po osuszeniu przekształcane zostają na grunty orne. Systematyczne wykonywanie zabiegów agrotechnicznych nasila ich napowietrzanie i procesy mineralizacji próchnicy. Na obszarze naturalnego niedoboru wód powierzchniowych, które obejmują ponad jedną trzecią powierzchni kraju odnotowuje się zwiększoną częstotliwość występowania suszy rolniczej. Przeprowadzona wstępna ocena procesów degradacji gleb na obszarach odwodnionych i osuszonych nie pozwala na określenie wzajemnych, ścisłych zależności pomiędzy analizowanymi czynnikami. Uwidacznia natomiast skalę zmian w siedlisku glebowym

i ich wpływ na produkcję rolniczą oraz ryzyko występowania suszy rolniczej. Do przeprowadzenia wymiernej oceny wpływu osuszania i zmian stosunków wodnych na procesy degradacji gleb organicznych i mineralnych potrzebne są szczegółowe badania terenowe. Powinny one obejmować m.in. ocenę jakościową i ilościową substancji organicznej oraz ocenę stosunków wodnych w profilu glebowym. Prace te będą podstawą aktualizacji zasięgów przestrzennych gleb organicznych i pochodzenia organicznego na mapie glebowo-rolniczej w skali 1:5 000 i umożliwią określenie stopnia i skali przekształceń i degradacji tych gleb.

Komisja Europejska nie opracowała dotychczas strategii dotyczącej pustynnienia i wspólnych przepisów w zakresie ochrony gleby oraz działań mających na celu zapobieganie degradacji gleby. Odpowiedzialność za wdrożenie odpowiednich działań na szczeblu krajowym ponoszą kraje członkowskie (26). Istotny wpływ na ograniczenie procesów degradacji gleb w wyniku osuszenia i zjawiska suszy w Polsce może mieć Plan Przeciwdziałania Skutkom Suszy (PPSS) opracowany przez Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie (PGW WP). Przewiduje on m.in. działania prowadzące do zwiększenia ilości i czasu retencji wód na gruntach rolnych. Działania te obejmują tworzenie zadrzewień śródpolnych i pasów ochronnych poprawiających retencyjność wodną gleb oraz zachowanie, tworzenie lub odtworzenie śródpolnych oczek wodnych i mokradeł. Drugi zakres działań przewiduje budowę nowych urządzeń melioracji wodnych nawadniająco-odwadniających lub przebudowę istniejących urządzeń melioracyjnych z funkcji odwadniających na nawadniająco-odwadniające (<https://wody.gov.pl/nasze-dzialania/stop-suszy>). Rzeczywiste efekty ochronne działań ujętych w planie zależą jednak od tempa ich wdrażania i regionalizacji, która pozwoli skoncentrować siły i środki na obszarach najbardziej dotkniętych procesami degradacji gleb.

## Literatura

1. Bednarek R., Skiba S.: Czynniki i procesy glebotwórcze. Gleboznawstwo red. A. Mocek, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2015, s. 68-98.
2. Czyż E.A., Dexter A.R.: Fizyczne właściwości gleb. W: Wademekum klasyfikatora gleb, F. Woch (red.) IUNG-PIB, Puławy 2015, s. 22-95.
3. Doroszewski A., Jadczyzyn J., Kozyra J., Pudełko R., Stuczyński T., Mizak K., Łopatka A., Koza P., Górski T., Wróblewska E.: Podstawy systemu monitoringu suszy rolniczej. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, 2012 (IV-VI): t. 12, 2: 77-91.
4. Doroszewski A., Józwicki T., Wróblewska W., Kozyra J.: Susza rolnicza w Polsce w latach 1961–2010. IUNG-PIB, Puławy, 2014, s. 144.
5. Górski T., Demidowicz G., Deputat T., Górski K., Marcinkowska L., Spóz-Pač W., Zaliwski A., Wróblewska E.: Atlas Agroklimatyczny. IUNG, Puławy, 1999, s. 58.
6. GUS. Ochrona Środowiska. 2012.

7. Famielc J., Górka K., Stuczyński T., Wołkiewicz S.: Oszacowanie kosztów wynikających z wdrażania w Polsce wymagań zawartych w projekcie dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiającej ramy dla ochrony gleb oraz zmieniającej dyrektywę 2004/35/WE, 2007, Puławy-Warszawa-Kraków.
8. <https://www.eea.europa.eu/pl/sygna142y/sygna142y-2015/artykuly/gleba-a-zmiany-klimatu>
9. <https://wody.gov.pl/nasze-dzialania/stop-suszy>
10. Igras J., Lipiński W.: Regionalne zróżnicowanie stanu agrotechnicznego gleb w Polsce. Raporty PIB, Puławy, 2006, **3**: 71-80.
11. Jerzak L., Maciantowicz M., Goraj M.: Strategia rozwoju Polski Zachodniej. Ekspertyza Uniwersytet Zielonogórski regionalna Dyrekcja lasów Państwowych, Polska Akademia Nauk. Zielona Góra, 2011, ss. 81.
12. Kędziora A.: Wody już brakuje, ale stepowienie nam nie grozi. Głos Wielkopolski, 2008. <https://gloswielkopolski.pl/wody-juz-brakuje-ale-stepowienie-nam-nie-grozi/ar/67042>
13. Kleczkowski A.: Ochrona hydrosfery i zasoby wód. W: Przemiany środowiska naturalnego ekorozwój, red. M. Kotarba, Kraków, Geosfera, 2001, s. 29-48.
14. Koza P., Łopatka A., Jadczyzyn J., Wawer R., Doroszewski A., Siebielec G, Raport IUNG-PIB: 2019. Obszary Wsparcia Nawodnień (OWN). Wyznaczenie obszarów w różnym stopniu zagrożonych wystąpieniem suszy w Polsce na potrzeby wdrażania operacji „Modernizacja gospodarstw rolnych” Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020”.
15. Kozyra J., Górski T.: Występowanie susz atmosferycznych w Polsce. XXXI Ogólnopolski Zjazd Agrometeorologów, Wyzwania agrometeorologii wobec ekstremalnych zjawisk pogodowych, 14–16 wrzesień 2005, Bydgoszcz. Mapa KBW.
16. Kudlicki Ł.: Zagrożenie pustynnieniem w Polsce. Bezpieczeństwo Narodowe. 1/2006, s. 201-211.
17. Kuś J., Kopiński J.: Gospodarowanie glebową materią organiczną we współczesnym rolnictwie. Zagadnienia doradztwa rolniczego. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, 2012, s. 5-26.
18. Miśkiewicz H.: Klimat Puław w świetle sprostżeń meteorologicznych w latach 1872–1958, Część II. Opady atmosferyczne. Roczn. Nauk Roln., 1964, T 89-A-2, 273-303.
19. Okruszko H.: Wpływ melioracji wodnych na gleby organiczne w warunkach Polski. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 1976, **177**: 159-204.
20. Piascik H., Gotkiewicz J.: Przeobrażenia odwodnionych gleb torfowych jako przyczyna ich degradacji. Roczniki Gleboznawcze, 2004. T. LV, **2**: 331-338.
21. Piascik H., Bieniek B., Wójciak H.: Dekalcytacja gleb torfowych w warunkach Pojezierza Mazurskiego powodowana długoletnim ich użytkowaniem. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 1998, **456**: 279-284.
22. Piłkowska D.: Praktyki zapobiegające stratom węgla organicznego z gleby. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy, 2019, **59(13)**: 77-91.
23. Porębska G., Sadowski M.: Współczesne problemy pustynnienia, Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, 2007, **30**: 73-82.
24. Raport z wdrożenia Zintegrowanego Systemu Informacji o Rolniczej Przestrzeni Produkcyjnej dla potrzeb ochrony gruntów w województwie podlaskim. Oprac. Pod red. Stuczyńskiego T.: Urząd Marszałkowski Województwa Podlaskiego, IUNG-PIB, Puławy–Białystok. 2006. s. 238.
25. Skłodowska P., Bielska A.: Właściwości i urodzajność gleb Polski – podstawą kształtowania relacji rolno-środowiskowych. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. 2009, t. 9, **4(28)**: 203-214.
26. Sprawozdanie Specjalne nr 33 Europejskiego Trybunału Obrachunkowego KE. Zwalczanie pustynnienia w UE – rosnące zagrożenie wymagające intensyfikacji działań. 2018, s. 72. [https://www.eea.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR18\\_33/SR\\_DESERTIFICATION\\_PL.pdf](https://www.eea.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR18_33/SR_DESERTIFICATION_PL.pdf)
27. Ukalska-Jaruga A., Smreczak B., Strzelecka J.: Wpływ materii organicznej na jakość gleb użytkowanych rolniczo. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy, 2017, **54(8)**: 25-39.

28. [www.susza.iung.pulawy.pl](http://www.susza.iung.pulawy.pl)

29. Woś A.: Klimat Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa, 1999, s. 302.

---

Adres do korespondencji:

*dr Jan Jadczyzyn*  
*Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy*  
*tel. 81 4786 918*  
*e-mail: JanJ@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR	ORCID
Jan Jadczyzyn	0000-0003-4921-7609
Beata Bartosiewicz	0000-0003-0148-2999

**Bożena Smreczak, Jacek Niedźwiecki, Jan Jadczyzyn, Magdalena Łysiak**

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

AKTUALNY STAN ODWADNIANYCH GLEB ŁĄKOWYCH  
WYTWORZONYCH Z TORFÓW NISKICH – BADANIA PILOTAŻOWE\*

**Słowa kluczowe:** gleby pochodzenia organicznego, materia organiczna, melioracje odwadniające, torfy, mursze, degradacja gleb

### Wstęp

Redukcja nadmiernej emisji gazów cieplarnianych do atmosfery produkowanych w różnych sektorach gospodarki oraz sekwestracja węgla w glebie są wymieniane wśród celów polityki klimatycznej wdrażanej przez Unię Europejską (UE). Prawo o klimacie stanowi część Europejskiego Zielonego Ładu, który do 2050 r. ma doprowadzić wszystkie kraje członkowskie UE do neutralności klimatycznej.

Działalność człowieka, prowadzona na szeroką skalę po II wojnie światowej, związana z osuszaniem torfowisk, wycinaniem lasów oraz przekształcaniem łąk i pastwisk na grunty orne miała na celu zwiększenie areалу pól uprawnych w Europie dla zapewnienia żywności rosnącej populacji ludzi (6). Zmiany te spowodowały szybką mineralizację materii organicznej i emisję do atmosfery m.in. dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ), metanu ( $\text{CH}_4$ ) i podtlenku azotu ( $\text{N}_2\text{O}$ ), zaliczanych do tzw. gazów cieplarnianych powodujących wzrost temperatury w skali globalnej (1, 5, 6, 8).

Lasy i użytki rolne stanowią trzy czwarte powierzchni UE (8). Zawierają ogromne ilości węgla zgromadzone w postaci związków organicznych występujących m.in. w roślinach i ich obumarłych szczątkach. Torfowiska nieużytkowane oraz znajdujące się w użytkowaniu rolnym i leśnym to siedliska najbardziej zasobne w węgiel. Zajmują około 2,5–3,0% powierzchni lądów na kuli ziemskiej i gromadzą około 25–30% zasobów C, co stanowi około 500–615 Gt. Odpowiada to szacunkowo 60–75% zasobów węgla w atmosferze i dwukrotności zasobów węgla zgromadzonych przez lasy.

\* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

Odwodnienie gleb torfowych prowadzi do zainicjowania procesu murszenia powodującego zmiany struktury i zmniejszenie się pojemności wodnej warstwy organicznej (2, 4, 5, 11–13). Nasilone i długotrwałe murszenie może prowadzić do całkowitego zaniku warstw organicznych, ponieważ tempo ubytku masy torfowej jest 10–20-razy większe od tempa jej przyrostu, który wynosi zaledwie 0,5–1,0 mm rocznie (6, 10, 12). Szacuje się, że warstwa torfu o miąższości 1 m powstaje przez co najmniej tysiąc lat (6).

Tempo zaniku powierzchni torfowisk w wyniku murszenia warstw organicznych zależy od rodzaju genetycznego torfu, zagęszczenia masy torfowej, intensywności osuszania torfowiska, sposobu jego użytkowania oraz czasu (1, 2, 4–6, 9, 10). Badania przeprowadzone przez Borowca (4) wykazały, że już po upływie 10 lat od chwili osuszenia torfowiska w górnych warstwach torfu zachodziły znaczne przemiany chemiczne i fizyczne uwidocznione w budowie morfologicznej profilu glebowego, w postaci dobrze widocznego poziomego murszenia. Należy zaznaczyć, że murszenie powierzchniowych warstw torfu powoduje nieodwracalną degradację fitocenoz torfowiskowych (3), które zasiedlają rzadko spotykane gatunki roślin, często reliktowych, jak na przykład malina moroszka (*Rubus chamaemorus* L.) czy brzoza karłowata (*Betula nana* L.).

Zmiany na obszarach występowania gleb torfowych są wynikiem nie tylko wprowadzenia melioracji odwadniających, ale również eksploatacji torfów na potrzeby m.in. branży ogrodniczej, dla której torf stanowi dodatek do podłoży dla roślin kwiatarskich, warzywniczych i sadowniczych. Wyrobiska po torfie są często rekultywowane w kierunku wodnym, co może skutkować osuszeniem całego torfowiska i/lub terenów do niego przyległych oraz powodować emisje gazów cieplarnianych, w tym głównie metanu powstającego w trakcie procesu beztlenowego rozkładu resztek organicznych (3, 9). W wielu wypadkach kierunek wodny rekultywacji terenów po eksploatacji ma na celu renaturyzację, a w efekcie regenerację, czyli powrót roślin torfotwórczych i akumulację torfu.

W Polsce powierzchnia torfowisk jest szacowana na 1211 tys. ha, co stanowi 4,1% powierzchni użytków rolnych ogółem. W latach 60. i 70. ubiegłego wieku ponad 80% torfowisk niskich (ok. 820 tys. ha) zostało trwale odwodnionych i przekształconych w trwale użytki zielone lub, w niewielkim zakresie (około 5%), w grunty orne (5, 6). Z szacunków Joostena (8) wynika, iż roczna emisja CO<sub>2</sub> z wszystkich polskich zdegradowanych torfowisk wynosi 25,8 mln ton, czyli 7,5% w odniesieniu do emisji ze spalania paliw kopalnych. Przedstawione dane stawiają Polskę w grupie 10 największych światowych emiterów CO<sub>2</sub> z powierzchni zdegradowanych torfowisk. Badania wskazują, że roczne straty materii organicznej na odwadnianych torfowiskach użytkowanych jako łąki trwale wynoszą od 5 do 15 t·ha<sup>-1</sup>, a ich powierzchnia obniża się w tempie około 1 cm rocznie (5, 6).

Zdaniem Bieńka i Łachacza (2), nasilony proces mineralizacji warstwy organicznej jest najczęstszą przyczyną zmiany użytkowania gleb torfowych oraz gleb murszowych z łąk i pastwisk trwałych na grunty orne. Zmiany te najsilniej

uwidaczniają się w strefie brzegowej torfowisk, a przeorywanie łąk i pastwisk powoduje mieszanie warstw organicznych z utworami podglebia oraz dalszy ubytek materii organicznej do zawartości typowej dla gleb piaszczystych (poniżej 1%, tj.  $100 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Wyniki badań Piaścika i Gotkiewicza (12) wskazały, że odwodnione i rolniczo użytkowane gleby torfowe będą ulegać niekorzystnym przekształceniom według schematu: gleby torfowe → gleby murszowo-torfowe → gleby mineralno-murszowe → gleby murszowate → gleby murszaste → gleby mineralne.

Wspieranie działań powodujących ograniczenie emisji dwutlenku węgla z rolnictwa jest jednym z celów Wspólnej Polityki Rolnej wdrażanej przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi (MRiRW). W 2016 roku MRiRW zleciło IUNG-PIB w Puławach wykonanie badań aktualnego stanu gleb bogatych w węgiel pod trwałymi użytkami zielonymi (TUZ) i porównanie ich z danymi archiwalnymi będącymi w posiadaniu IUNG-PIB. Badania zostały przeprowadzone w latach 2016–2017 w dwóch etapach. Pierwszy etap dotyczył oceny kierunków i skutków przemian gleb bogatych w węgiel na wybranych obszarach pilotażowych. Drugi etap obejmował badania w skali kraju. Celem pracy jest przedstawienie na przykładzie trzech obszarów pilotażowych zmian miąższości warstwy organicznej oraz zawartości materii organicznej w glebach torfowych pod TUZ po 50 latach użytkowania tych gruntów.

### **Zakres i metodyka badań na obszarach pilotażowych**

Zakres prac na obszarach pilotażowych obejmował:

- wyznaczenie obszarów badań z uwzględnieniem danych z mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 (MGR25) i innych opracowań przestrzennych;
- analizę danych historycznych zawartych w opisach profili wzorcowych, w tym zawartości materii organicznej i innych właściwości chemicznych gleb oraz miąższości warstw organicznych;
- wyznaczenie punktów badań na obszarach pilotażowych oraz prace terenowe uwzględniające opis profili glebowych, pomiar miąższości i charakterystykę warstw organicznych oraz pobranie próbek glebowych;
- badania laboratoryjne właściwości chemicznych gleb.

### **Gleby pochodzenia organicznego**

Do gleb pochodzenia organicznego zostały zaliczone gleby, w których materia organiczna powstaje lub powstawała w warunkach nadmiernego uwilgotnienia. Na podstawie analizy danych z mapy MGR25 do tej grupy zaliczone zostały gleby torfowe wytworzone z torfów i torfy na podłożach mineralnych (T), gleby murszowe i murszowate (M) oraz gleby mułowo-torfowe i torfowo-mułowe (E). Zasady wydzielenia gleb torfowych w trakcie opracowania MGR25 stanowiły, że zaliczano do nich gleby, w których miąższość warstwy organicznej była powyżej 20 cm. Do gleb oznaczanych na MGR25 symbolem T zaliczane były również gleby z widocznymi



oznakami murszenia (gleby murszowo-torfowe). Były to gleby, w których powierzchniowa masa torfu ulegała widocznemu zmurszeniu i charakteryzowała się strukturą agregatową, a cechy murszenia musiały być widoczne co najmniej do głębokości 20 cm oraz gleby, w których warstwa torfu jeszcze nie uległa daleko idącym przeobrażeniom, ale wykazywała oznaki odwodnienia (15).

Przyjęta definicja dla gleb pochodzenia organicznego zasadniczo różni się od definicji gleb organicznych zastosowanej w Systematyce gleb Polski (wydanie 6) (14) oraz klasyfikacji przedstawionej przez IUSS Working Group WRB (7). W pierwszej z nich do gleb organicznych zalicza się takie, w których miąższość warstwy organicznej jest równa lub większa od 30 cm, a zawartość węgla organicznego wynosi  $\geq 12\%$ . W klasyfikacji WRB do gleb organicznych (*Histosols*) zalicza się m.in. te, w których warstwy materiału organicznego o zawartości  $\geq 20\%$  (wag.) rozpoczynają się nie głębiej niż 40 cm, licząc od powierzchni gleby. Łączna miąższość warstw organicznych do głębokości 100 cm musi być większa lub równa 60 cm, jeśli  $\geq 75\%$  (objętości) materiału organicznego, z którego składają się warstwy stanowi torf, lub większa bądź równa 40 cm, jeśli jest to inny materiał.

### Wyznaczanie obszarów pilotażowych

Przy wyborze obszarów pilotażowych zastosowano kryteria. Trzy pierwsze musiały zostać spełnione łącznie, kolejne dwa – fakultatywnie. Każdy obszar:

1. Stanowił indywidualny kontur na MGR25;
2. W trakcie wykonywania MGR25 charakteryzował się występowaniem gleb pochodzenia organicznego oraz był użytkowany jako Tuz;
3. Posiadał przypisany profil wzorcowy dokumentujący zmienność poziomów oraz wyniki analiz chemicznych dla poszczególnych poziomów;
4. Był zlokalizowany w zróżnicowanych warunkach klimatycznych oraz warunkach hydrologicznych;
5. Mógł być objęty ochroną w ramach sieci Natura 2000.

Do oceny zmian miąższości warstw organicznych w glebach torfowych znajdujących się w użytkowaniu rolniczym pod Tuz zostały wybrane trzy obszary położone w województwach: lubuskim, kujawsko-pomorskim oraz wielkopolskim, oznaczone kolejno jako: obszar nr 11 (2zTn), obszar nr 12 (2zTn) oraz obszar nr 13 (3zTn). Szczegółową charakterystykę wybranych obszarów zawiera tabela 1.

Tabela 1

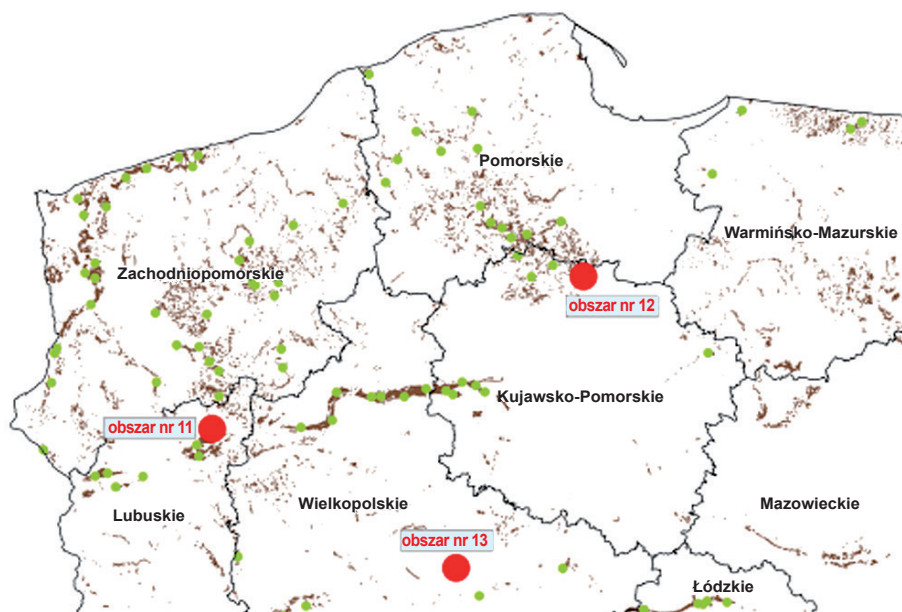
## Charakterystyka obszarów pilotażowych

Nr obszaru		11	12	13
Opis konturu na MGR 25		2zTn	2zTn	3zTn
Lokalizacja profilu wzorcowego	X	273630,38	467462,47	400667,95
	Y	557832,70	643688,21	489979,10
Województwo		lubuskie	kujawsko-pomorskie	wielkopolskie
Powiat		strzelecko-drezdenecki	świecki	wrześniński
Gmina		Stare Kurowo, Zwierzyn	Warlubie	Września
Powierzchnia obszaru (ha)		1094,1	351,8	122,8
Podprovincia		Pojezierza Południowobałtyckie		
Melioracje odwadniające		tak		
Natura2000		Dolina Dolnej Noteci	Bory Tucholskie	brak
Zasilanie wodami		Kanał Otok	dopływ z Bagna Dużego	Kanał Biechowski A
Typ mokradła		przewaga torfowisk niskich		
Roślinność		przewaga zbiorowisk łąk wilgotnych		
Liczba punktów badawczych		15	10	13

Źródło: opracowanie własne

### Analiza bazy danych profili wzorcowych oraz wyznaczanie obszarów do badań pilotażowych

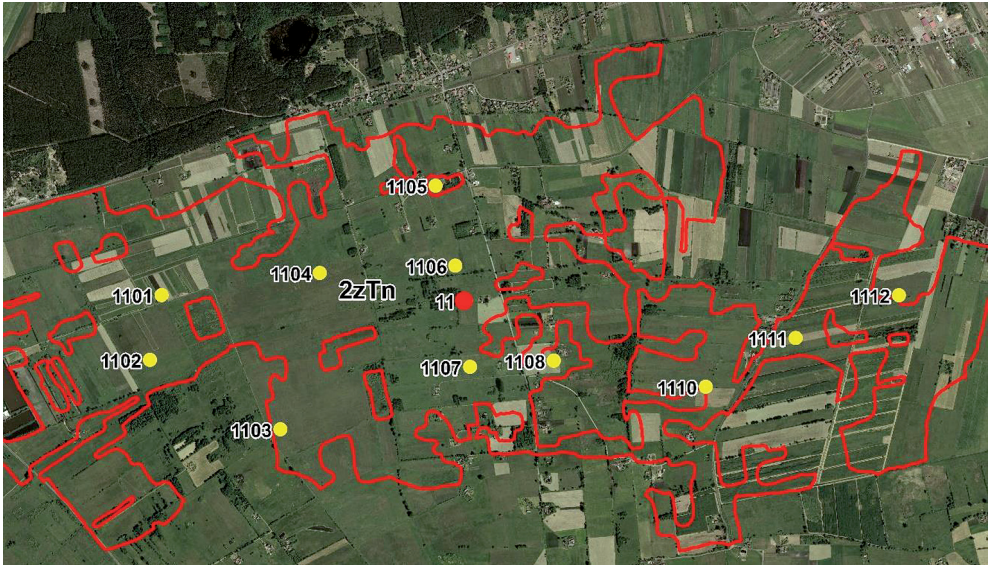
Baza profili wzorcowych do MGR25 zawiera informacje z lat 1965–1984 obejmujące szczegółowe opisy odkrywek glebowych, wyniki analiz chemicznych próbek pobranych z wybranych poziomów genetycznych w profilu glebowym oraz opis warunków wodnych siedliska. Profile wzorcowe były wykonywane na gruntach ornych i użytkach zielonych w całej Polsce. W bazie danych IUNG-PIB znajdują się opisy 269 profili gleb torfowych i murszowo-torfowych. Przykład przestrzennego rozmieszczenia profili wzorcowych zlokalizowanych w konturach gleb torfowych i murszowo-torfowych użytkowanych jako TUZ w pasie Pojezierzy Południowobałtyckich przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Lokalizacja profili wzorcowych (kolor zielony) oraz obszarów pilotażowych (kolor czerwony) na glebach torfowych i murszowo-torfowych użytkowanych jako TUZ w pasie Pojezierzy Południowobałtyckich.

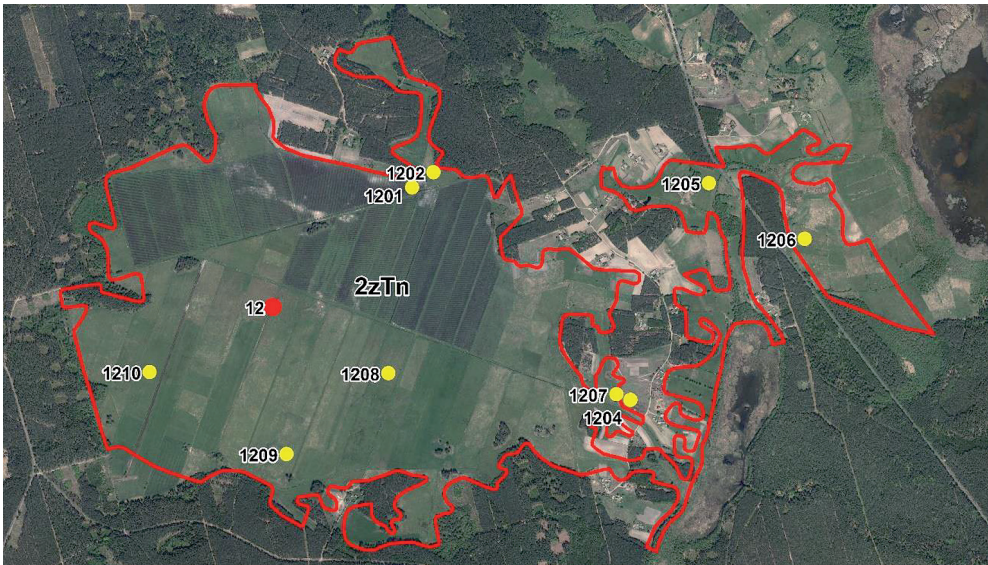
### Wyznaczanie punktów kontrolnych w terenie oraz sposób prowadzenia badań na obszarach pilotażowych

Na każdym z obszarów pilotażowych, oprócz miejsca usytuowania profilu wzorcowego, zostały zlokalizowane dodatkowe punkty kontrolne (tab. 1). Do ich wyznaczenia wykorzystano dane z mapy glebowo-rolniczej w skali 1: 5000, ortofotomapy oraz dane z mapy pokrycia terenu (landuse) o rozdzielczości terenowej 5×5 m, wykonanej na podstawie baz danych użytkowania gruntów z zastosowaniem wielospektralnych zobrazowań satelitarnych i lotniczych dla wybranych terenów (stan danych – 2016 rok, f-ma Geosystems Polska Sp. z o.o.). W celu wykonania szacunkowej oceny zmian zawartości materii organicznej oraz miąższości warstw organicznych (torfowych i murszowych) uzyskane wyniki porównywano z wynikami dla profilu wzorcowego. Rozmieszczenie punktów badań na obszarach pilotażowych nr 11, nr 12 oraz nr 13 przedstawiają rysunki 2–4, na których kolorem czerwonym została zaznaczona lokalizacja profilu wzorcowego, a żółtym – lokalizacje dodatkowych punktów badań.



Rys. 2. Lokalizacja punktów badań w terenie – obszar nr 11

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3. Lokalizacja punktów badań w terenie – obszar nr 12

Źródło: opracowanie własne



Rys. 4. Lokalizacja punktów badań w terenie – obszar nr 13

Źródło: opracowanie własne

### **Sposób prowadzenia badań terenowych i analizy laboratoryjne**

Na każdym z obszarów zostały wykonane odkrywki glebowe wraz z opisem miąższości warstw organicznych, poziomów zróżnicowania, stosunków wodnych, kategorii użytku gruntowego oraz roślin występujących na danym użytku.

Z poszczególnych poziomów zróżnicowania gleb wydzielanych w podobny sposób jak przy opracowaniu MGR25 były pobierane próbki do badań laboratoryjnych, w tym pH-H<sub>2</sub>O, pH-KCl oraz zawartości materii organicznej. Odczyn gleb był oznaczany z wykorzystaniem metody potencjometrycznej zgodnie z PN-ISO 10390, a zawartość materii organicznej – z wykorzystaniem oznaczeń straty podczas prażenia w 550°C.

### **Wyniki badań**

#### **Pokrywa glebowa oraz sposób użytkowania gruntów na obszarach pilotażowych**

Na obszarach pilotażowych dominowały trawy słabej i średniej jakości z domieszką chwastów, turzyc i sitów (rys. 5). Na większości obszarów TUZ były użytkowane w sposób ekstensywny oraz odłogowane. Dopłaty w ramach Wspólnej Polityki Rolnej (WPR) powodują, że wiele łąk jest koszonych, co zapobiega zakrzaczeniom i zadrzewieniom. Są to działania pozytywne, gdyż zapobiegają degradacji warstw organicznych oraz zapewniają prawidłowe funkcjonowanie fitocenoz torfowiskowych.

Warunki wodne na obszarach pilotażowych były zróżnicowane. Na przykład na obszarach nr 11 i nr 12 woda gruntowa występowała na głębokości od 50 cm do 80 cm, natomiast na obszarze nr 13 w większości punktów kontrolnych była poza profilem glebowym (rys. 5). Pokrywą glebową na obszarach nr 11 i nr 12 stanowiły gleby torfowe oraz murszowo-torfowe. Na obszarze nr 13 w sąsiedztwie gleb murszowo-torfowych występowały gleby murszowe, gleby murszaste oraz czarne ziemie (rys. 5). Urządzenia melioracyjne na wszystkich obszarach stanowiły rowy otwarte, płytkie, słabo utrzymane, nieczyszczone. Aktualnie obszary nr 11 oraz nr 12 są w całości objęte ochroną w ramach sieci Natura 2000.



Rys. 5. Przykłady użytków gruntowych i budowy profili glebowych na obszarze nr 13 (Fot. B. Smreczak)

### **Ocena zmian miąższości warstw torfu oraz zawartości materii organicznej w miejscu lokalizacji profilu wzorcowego**

Z porównania opisów profili wzorcowych oraz danych zgromadzonych w trakcie prac terenowych wynika, że po około 50 latach rolniczego użytkowania miąższość warstwy torfu oraz zawartość materii organicznej w glebach różni się znacząco między badanymi obszarami pilotażowymi. W latach 60. i 70. XX wieku na badanych obszarach występowały gleby torfowe lub murszowo-torfowe wytworzone z głębokich torfów niskich (120–150 cm), zawierające ponad 50% materii organicznej. Aktualnie

tylko na obszarze nr 11 nie stwierdzono zmniejszenia miąższości torfu, chociaż zawartość materii organicznej w tej warstwie była niższa i wynosiła 47,6% (pierwotnie 63,9%). Wartości pH w H<sub>2</sub>O i KCl wskazywały na proces zakwaszania tych gleb. Na obszarach nr 12 i nr 13 stwierdzono zarówno ubytek miąższości warstw torfu oraz spadek zawartości materii organicznej. Największe zmiany nastąpiły na obszarze nr 13, na którym ponowne badanie warstw organicznych w miejscu usytuowania profilu wzorcowego wykazało ubytek 85 cm warstwy torfu i ponad 60% ubytek zawartości materii organicznej. Tak duże zmiany wskazują, że gleba uległa daleko posuniętej degradacji i powinna być zaliczona do gleb murszowatych stanowiących stadium przejściowe pomiędzy glebami organicznymi a mineralnymi.

Tabela 2

Porównanie wartości pH, miąższości warstw organicznych oraz zawartości materii organicznej w profilach wzorcowych do MGR25 oraz profilach glebowych wykonanych na obszarach pilotażowych nr 11–13 w roku 2017

Rok badań	Numer profilu	pH-H <sub>2</sub> O	pH-KCl	MO (%)	Miąższość warstw bogatych w węgiel organiczny (cm)
Obszar pilotażowy nr 11					
1973	PW8318	6,6	6,2	63,9	150
2017	1100	5,9	5,6	47,6	150
zmiana	-	-0,5↓	-0,6↓	-16,3↓	0
Obszar pilotażowy nr 12					
1967	PW5926	6,4	5,7	55,7	150
2017	1200	6,0	5,6	42,1	90
zmiana	-	-0,4↓	-0,1↓	-13,6↓	-60↓
Obszar pilotażowy nr 13					
1972	PW2132	6,7	5,3	70,1	120
2017	1300	7,4	7,4	8,7	35
zmiana	-	+0,7↑	+2,1↑	-61,4↓	-85↓

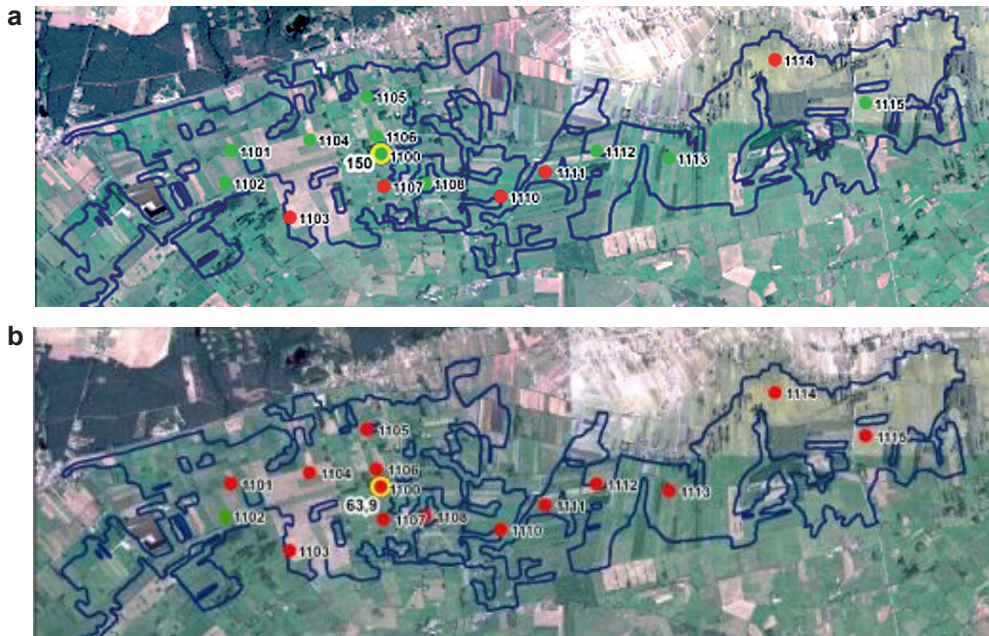
### Ocena zmian miąższości warstw torfu oraz zawartości materii organicznej w punktach kontrolnych

Badania warstw organicznych w dodatkowych punktach zlokalizowanych na obszarach pilotażowych wykazały, że mineralizacja materii organicznej połączona z ubytkiem warstw torfu zachodzi w sposób niejednorodny w obrębie indywidualnego obszaru oraz różni się między obszarami (rys. 6–8). Na obszarze nr 11 ubytki warstwy organicznej w porównaniu z danymi z roku 1973 (miąższości warstwy torfu – 150 cm) stwierdzono w pięciu punktach kontrolnych: 1103 (60 cm), 1107 (90 cm), 1110 (90 cm), 1111 (100 cm) oraz 1114 (50 cm). W pozostałych lokalizacjach nie stwierdzono zmian miąższości warstw organicznych (rys. 6). Zawartość materii

organicznej w masie torfu pobranej w indywidualnych lokalizacjach wahała się granicach od 44,7% do 63,9%. Wartość średnia MO dla całego obszaru wynosiła 57,1% i była prawie 7% niższa w porównaniu z danymi z opisu profilu wzorcowego.

Proces mineralizacji warstw organicznych na obszarze nr 12 przebiegał szybciej w porównaniu z obszarem nr 11 (rys. 7). Ubytek masy torfowej stwierdzono w 5 na 9 dodatkowych punktów badań. Od 1967 roku warstwy torfu obniżyły się od 65 cm (punkt 1207) do 110 cm (punkt 1206), ale w części obszaru pozostały bez zmian. Średnia wartość MO dla obszaru wynosiła 56,7% i była podobna do wartości MO w profilu wzorcowym (55,7%). Zakres zawartości materii organicznej na obszarze nr 12 wynosił od 31,8% do 70,7%.

Ubytki masy torfu (do 90 cm) stwierdzono również na obszarze nr 13 (rys. 8). Tylko w trzech lokalizacjach miąższość warstwy torfu nie uległa zmianie od 1972 r. Jednak największe zmiany dotyczyły zawartości materii organicznej zarówno w profilu wzorcowym jak również w dodatkowych punktach kontrolnych (rys. 8). Średnia wartość MO dla obszaru wynosiła 27,3% i była ponad 2,5-krotnie niższa od zawartości w profilu wzorcowym (77,1%). W niektórych punktach kontrolnych ( np. 1303 i 1315) zawartość MO w warstwie 0–30 cm wynosiła odpowiednio: 6,1% i 5,4%.

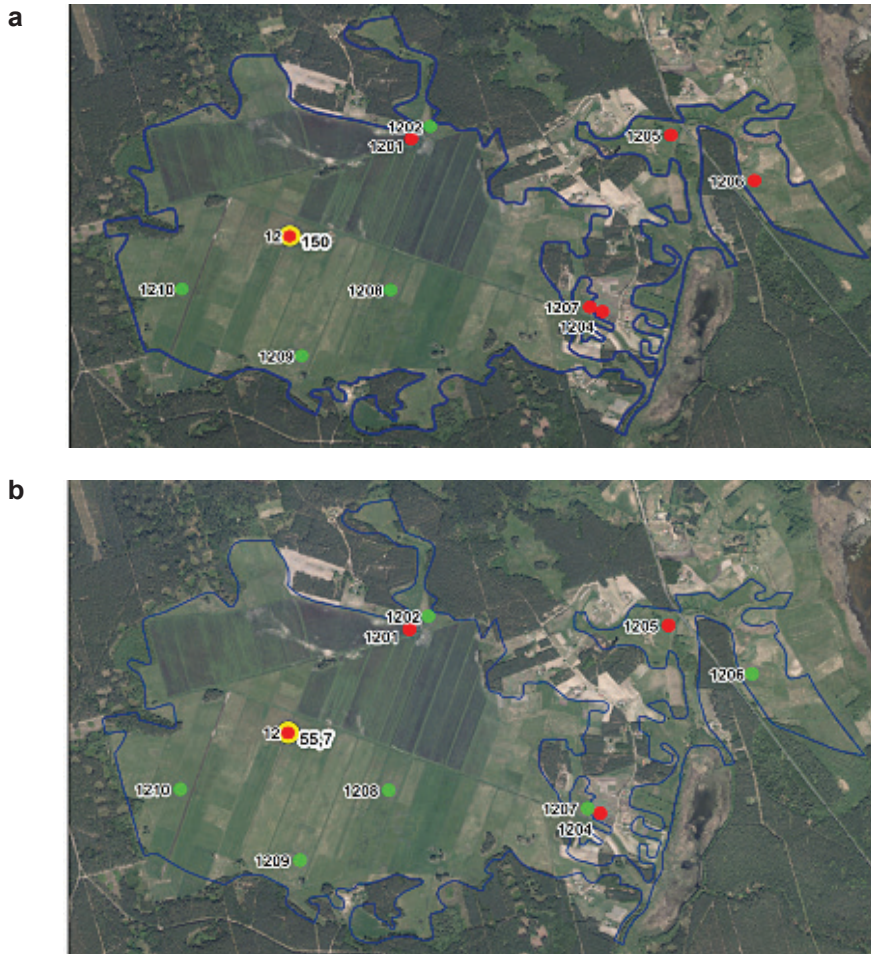


Rys. 6. Zmiany a) miąższości warstw torfu (cm) oraz b) zawartości materii organicznej (MO w %) w punktach kontrolnych na obszarze 11 w porównaniu z profilem wzorcowym (punkt nr 1100).

Kolorem czerwonym oznaczono spadki, a kolorem zielonym brak zmian w miąższości torfu i zawartości materii organicznej

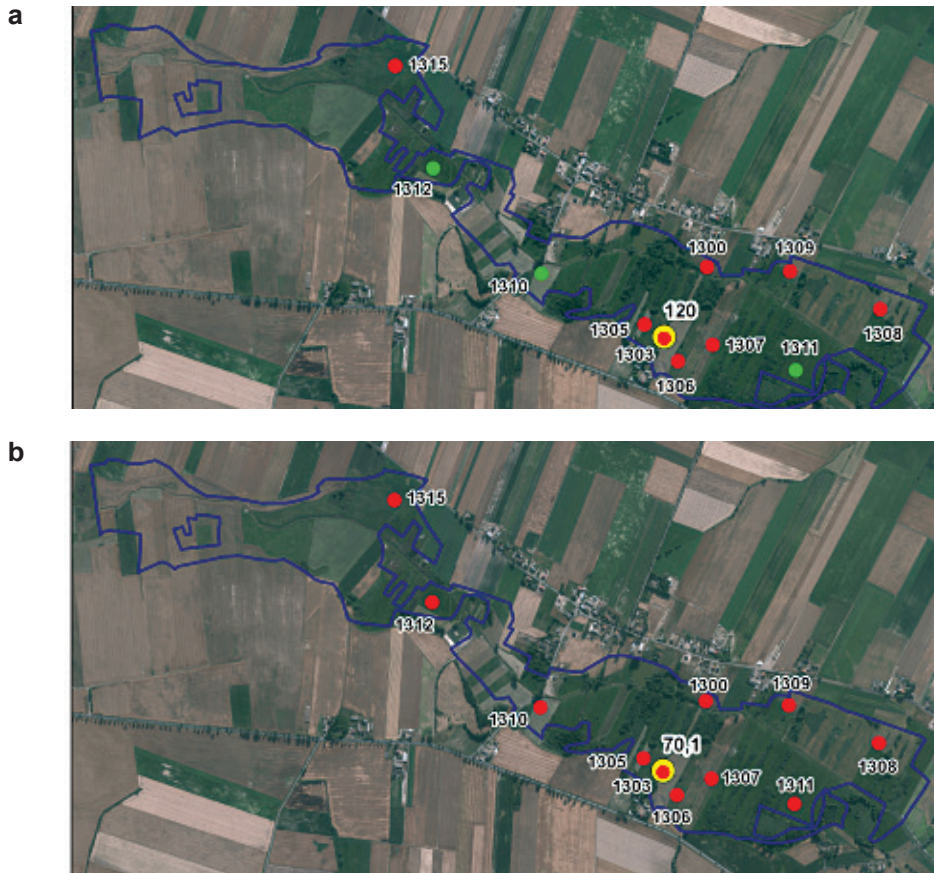
Źródło: opracowanie własne





Rys. 7. Zmiany a) miąższości warstw torfu (cm) oraz b) zawartości materii organicznej (MO w %) w punktach kontrolnych na obszarze 12 w porównaniu z profilem wzorcowym (punkt nr 12). Kolorem czerwonym oznaczono spadki, a kolorem zielonym brak zmian w miąższości torfu i zawartości materii organicznej

Źródło: opracowanie własne



Rys. 8. Zmiany a) miąższości warstw torfu (cm) oraz b) zawartości materii organicznej (MO w %) w punktach kontrolnych na obszarze 12 w porównaniu z profilem wzorcowym (punkt nr 1303).  
Kolorem czerwonym oznaczono spadki, a kolorem zielonym brak zmian w miąższości torfu i zawartości materii organicznej

Źródło: opracowanie własne

## Podsumowanie

Porównanie zawartości materii organicznej w profilach glebowych z danymi archiwalnymi wykazało w większości przypadków straty w zawartości MO. Jednak wielkość tych strat zależała od wielu czynników charakterystycznych dla danego obszaru pilotażowego. W różnym zakresie, ale na wszystkich obszarach, stwierdzono, że miąższość warstw organicznych uległa spłyceniu, co wskazuje na niejednorodność pokrywy glebowej na tych obszarach oraz na lokalne różnice m.in. poziomu wody gruntowej zasilającej te obszary lub intensywności ich odwadniania. Badania potwierdziły, że nadmierne osuszanie torfowisk prowadzi do nieodwracalnych zmian w tych siedliskach i skutkuje przekształcaniem gleb torfowych w gleby murszowe, murszowate oraz czarne ziemie. W największym zakresie te zmiany stwierdzono w przypadku obszaru nr 13, a zmiany jakości pokrywy glebowej były obserwowane nie tylko na obrzeżach tego terenu. W okresie ostatnich kilku dziesięcioleci nie wszystkie zmeliorowane obszary występowania gleb torfowych użytkowane rolniczo uległy trwałej degradacji i nieodwracalnym przeobrażeniom, co zanotowano w przypadku obszaru nr 11, dlatego takie tereny powinny zostać objęte szczególną ochroną.

## Literatura

1. B e r g l u n d K.: Subsidence of cultivated peat soils – two case studies in Sweden. Proc. 9th International Peat Congress in Uppsala, 1992.
2. B i e n i e k A., Ł a c h a c z A.: Ewolucja gleb murszowych w krajobrazie sandrowym. W: Wybrane problemy ochrony mokradeł, A. Łachacz (red.). Współczesne Problemy Kształtowania i Ochrony Środowiska. Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, 2012, 111-131.
3. B o c i ą g K., C h l o s t I., C i e ś l i ń s k i R., G o s K., K u j a w a - P a w ł a c z y k J., M a k l e s M., P a w ł a c z y k P.: Torfowiska jako zbiorniki węgla – zamierzenie renaturyzacji torfowisk w Słowińskim Parku Narodowym. Studia i Materiały CEPL w Rogowie R., 2017, **51**: 2.
4. B o r o w i e c J.: The physical and chemical effects of groundwater level lowering in the peat soil profile. Roczniki Gleboznawcze, 1968, **19**: 47-54.
5. C z a p ł a k I., D e m b e k W.: Torfowiska Polski jako źródło emisji dwutlenku węgla. Zeszyty edukacyjne nr 6/200. Falenty. Wydawnictwo IMUZ, 2000, s. 61-71.
6. I l n i c k i P., S z a j d a k L. W.: Zanikanie torfowisk. Wydawnictwo Poznańskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk, Poznań 2016, s. 312.
7. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2016 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resource Reports No. 106. FAO, Rome.
8. J o s t e n H.: The global peatland CO<sub>2</sub> picture. Peatland status and drainage related emissions in all countries of the world. Wetlands International, 2010.
9. K a r c z e w s k a A.: Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych, Wyd. UWP we Wrocławiu, Wrocław, 2008, s. 85-100.
10. L i p k a K., Z a j ą c E.: Stratygrafia torfowisk Kotliny Orawsko-Nowotarskiej. Wydawnictwo Art-Tekst, Kraków, 2014, ss. 133.
11. O l e s z c z u k R., G ą s o w s k a M., G u z G., U r b a ń s k i J., H e w e l k e E.: Wpływ procesów osiadania i zanikania gleb organicznych murszowych na profile podłużne rowów odwadniająco-nawadniających. Acta. Sci. Pol., Formatio Circumiectus, 2017, **16(3)**: 3-13.
12. P i a ś c i k H., G o t k i e w i c z J.: Przeobrażenia odwodnionych gleb torfowych jako przyczyna ich degradacji. Roczniki Gleboznawcze, 2004, **55**: 331-338.

- 
13. R o g u l s k i W.: Proces gładwienia i różnicowania się bagiennych łąk w dorzeczu Noteci. Rozprawa habilitacyjna. Wyd. IMUZ Falenty, 1972.
  14. Systematyka gleb Polski. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska UP we Wrocławiu, Polskie Towarzystwo Gleboznawcze. Komisja Genezy, Klasyfikacji i kartografii Gleb, Wrocław-Warszawa, wyd. 6, 2019, ss. 292.
  15. T r u s z k o w s k a R.: Instrukcja w sprawie wykonania pierworysów mapy gleb i mapy bonitacyjnej w skali 1:25 000 według wykazu PTG, Warszawa, 1961, ss. 114.
- 

Autorzy składają serdeczne podziękowania pracownikom Zakładu Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów IUNG-PIB oraz dr Barbarze Kalisz, dr. hab. Pawłowi Sowińskiemu i prof. dr. hab. Andrzejowi Łachaczowi z Katedry Gleboznawstwa i Rekultywacji Gruntów Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, którzy brali udział w badaniach na obszarach pilotażowych. Badania zostały przeprowadzone w latach 2016–2017 na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, w ramach zadania 1.3 w programie wieloletnim (2016–2020) IUNG-PIB.

---

Adres do korespondencji:

*dr hab. inż. Bożena Smreczak*  
*Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy*  
*tel. 81 4786 918*  
*e-mail: bozenas@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR	ORCID
Bożena Smreczak	0000-0001-8972-8636
Jacek Niedźwiecki	0000-0003-0667-5060
Jan Jadczyzyn	0000-0003-4921-7609



**Artur Łopatka, Grzegorz Siebielec, Bożena Smreczak**

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

**ZASOBNOŚĆ GLEB W PODSTAWOWE SKŁADNIKI  
ORAZ ZANIECZYSZCZENIE GLEB I WÓD AZOTANAMI\***

**Słowa kluczowe:** gleba, składniki pokarmowe, mapa glebowo-rolnicza, azotany, nawożenie

**Wstęp**

Zasobność gleb w podstawowe składniki pokarmowe dla roślin jest rezultatem złożonych procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych, w tym wietrzenia skał macierzystych, rozpuszczania soli w roztworze glebowym, przemywania w głąb profilu, sorpcji na powierzchni minerałów ilastych czy tworzenia glebowej materii organicznej. Niemal zamknięte obiegi większości składników pokarmowych w naturalnych formacjach roślinnych skutkują stanem równowagi, w którym zasobność gleb w składniki pokarmowe jest stała w czasie. Na glebach użytków rolnych (UR) lokalne bilanse składników pokarmowych nie są zamknięte – składniki pokarmowe dostarczane są w nawozach, a wynoszone w zbieranych z pola plonach lub wypłukiwane do wód gruntowych. Zmiany w technologii produkcji, zmiany popytu na wybrane produkty rolne, czy też kosztów wytworzenia rolniczych czynników produkcji prowadzą do zmian opłacalności nawożenia i w efekcie do zmian bilansów podstawowych składników pokarmowych. W okresach gdy stosunek cen nawozów do cen plonów jest niski, rośnie nawożenie a niepobrane przez rośliny uprawne składniki pokarmowe (jak np. azot) są częściowo kumulowane jako składnik glebowej materii organicznej. Dzięki temu nie trafiają w całości do wód gruntowych i nie powodują ich nadmiernej eutrofizacji, a ponadto mogą być wykorzystane w późniejszych okresach silnego wzrostu stosunku cen nawozów do cen plonów, gdy spadek nawożenia sprzyja mineralizacji glebowej materii organicznej. Ta buforowa funkcja gleby łagodzi więc zarówno presje środowiskowe, jak i niekorzystne skutki ekonomiczne dla producentów rolnych. Pomimo istnienia teoretycznych ram dla

\* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.9 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

opisanych procesów ich sumaryczny kierunek nawet w okresach stosunkowo stabilnych ekonomicznie jest trudny do przewidzenia. Analizy takie utrudnia zarówno złożoność ekonomicznych modeli optymalizacji nawożenia w warunkach częściowego buforowania przez glebę dostępności składników pokarmowych (3, 7, 15), jak i wciąż niedostateczne rozumienie mechanizmów akumulacji i dekompozycji glebowej materii organicznej, które dobitnie przejawia się w trudności odtworzenia przez znane modele przestrzennego zróżnicowania zasobów materii organicznej w glebach na świecie (24) oraz tempa jej dekompozycji w różnych strefach klimatycznych (2). Rozbieżność wydaje się być również widoczna pomiędzy opartym na współczynnikach reprodukcji-degradacji bilansem próchnicy dla gleb gruntów ornych (GO) Polski, który wykazuje (14) największe ujemne saldo bilansu próchnicy ( $-0,45 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ) w województwie dolnośląskim i niewielkie dodatnie ( $0,02 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ) w województwie wielkopolskim, a pomiarami zawartości próchnicy w glebach GO (21), gdzie bardzo niski jej poziom raportuje się w województwie wielkopolskim, a wysoki w województwie dolnośląskim.

Dotkliwe środowiskowe skutki przenawożenia powodują, że w Polsce monitoruje się zarówno bilanse podstawowych składników pokarmowych na poziomie pola czy gospodarstwa (5, 11, 13), jak i zawartość składników pokarmowych w glebie (10, 20, 22). W niniejszej pracy przedstawiono wyniki dwu takich monitoringów pod względem zasobności ornej warstwy gleb UR w przyswajany fosfor  $\text{P}_2\text{O}_5$ , potas  $\text{K}_2\text{O}$ , magnez Mg (22) oraz stężenia azotanów N- $\text{NO}_3$  w wodach drenarskich (10), po przetworzeniu danych punktowych na szczegółowe mapy zawartości składników pokarmowych na UR całego kraju, autorską metodą interpolacji (17) wykorzystującą wektorowe dane mapy glebowo-rolniczej. Stopień szczegółowości uzyskanych map pozwolił na odczytanie średnich zasobności gleb UR dla poszczególnych gmin i porównanie ich z ładunkami składników pokarmowych wprowadzanych w nawozach. Wizualizacja na mapach w skali gmin relacji nawożenia z zasobnością gleb stwarza szansę na pogłębienie rozumienia przyczyn i efektów polaryzacji intensywności rolnictwa (12) oraz ulepszenie instrumentów Wspólnej Polityki Rolnej dedykowanych ochronie środowiska.

## Metodyka

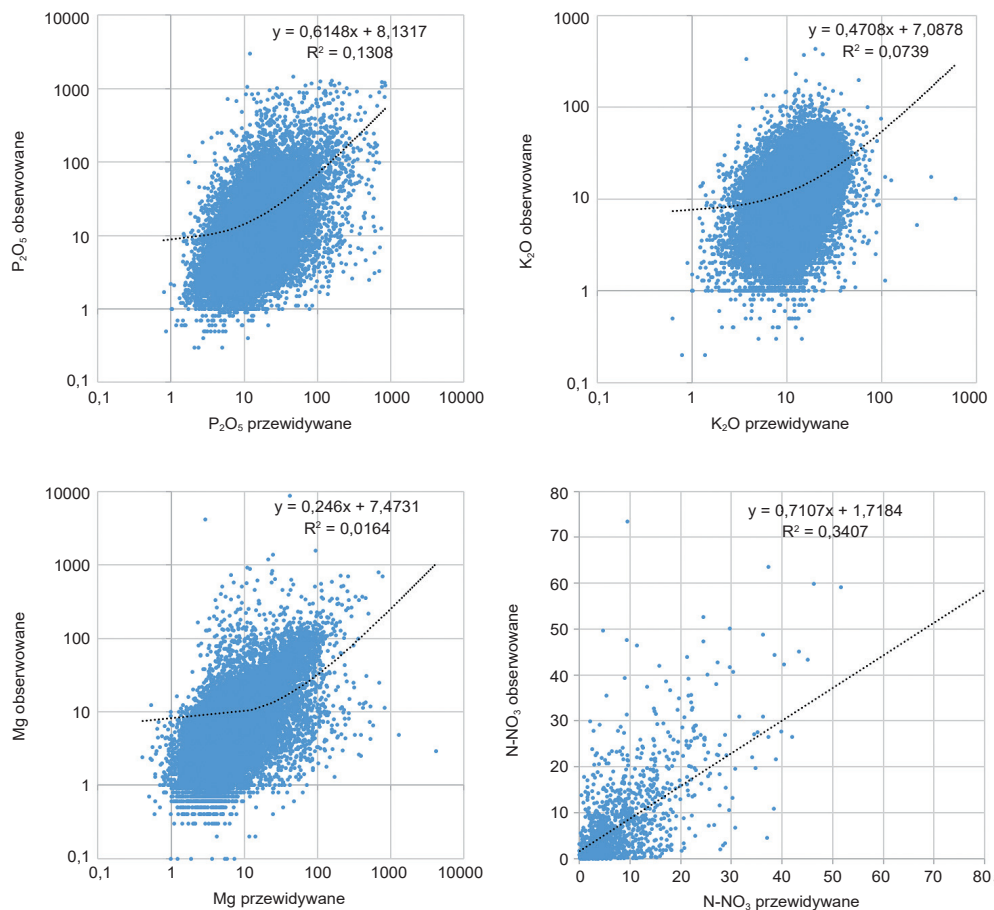
Mapy zasobności warstwy ornej (0–20 cm) gleb UR w przyswajany fosfor  $\text{P}_2\text{O}_5$ , potas  $\text{K}_2\text{O}$  i magnez Mg opracowano w oparciu o próbki gleb pobrane z 41536 lokalizacji rozmieszczonych jednorodnie i losowo na powierzchni UR całego kraju w latach 2014–2015. Próbkę te zostały wybrane z puli 160 228 próbek pobranych przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze (OSChR) w ramach badań odczynu gleb na potrzeby wyznaczenia nowych obszarów ONW (18). Próbkę glebowe zostały w latach 2016–2017 przeanalizowane laboratoryjnie przez OSChR-y pod kątem rozpatrywanych parametrów ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , Mg) w ramach monitoringu prowadzonego na potrzeby oceny skutków Wspólnej Polityki Rolnej (22).

Mapę stężeń azotanów w wodach drenarskich (płytkich wodach gruntowych na UR) opracowano, interpolując medianę wartości pomiarów N-NO<sub>3</sub> wykonywanych dwa razy do roku (wiosną i jesienią) w latach 2008–2012 w 1697 lokalizacjach rozmieszczonych jednorodnie i losowo na powierzchni UR całego kraju (10), będących częścią puli około 5000 lokalizacji monitorowanych w programie MonitAzot prowadzonym na potrzeby oceny zagrożenia eutrofizacją (4, 8).

Interpolację wartości z lokalizacji punktowych na powierzchnię UR przeprowadzono metodą opracowaną na potrzeby tworzenia map zagrożeń gleb (17), polegającą na przypisaniu do każdego z poligonów UR na mapie glebowo-rolniczej w skali 1:100 000 średnich ważonych wartości interpolowanego parametru z próbek spełniających zadane kryteria podobieństwa. Największy wpływ na wartość podobnie jak w metodzie IDW (ang. *Inverse Distance Weighting*) miały wartości mierzone w sąsiedztwie (eksperycko ustalono współczynnik potęgowy  $p = 3$ ), a wagi wpływu zmiennych objaśniających dodatkowych (których zgodność w poligonie i profilu nie jest warunkiem koniecznym) estymowano metodą najmniejszych kwadratów (rys. 1). Warstwami zmiennych objaśniających dodatkowych były: kategorie agronomiczne gleb (bardzo lekkie, lekkie, średnie, ciężkie, organiczne) określone z uziarnienia profili wzorcowych; użytkowanie terenu (GO, TUZ, lasy, wody, tereny zurbanizowane) odczytane z bazy profili wzorcowych oraz wysokość n.p.m. lokalizacji, z której pobrano próbkę (13 przedziałów: 0–25, 25–50, ..., 225–250, 250–300, 300–500, >500 m) odczytana z numerycznego modelu terenu. Ze względu na brak oczywistych przesłanek nie stosowano warunku koniecznego zgodności.

Uzyskane wagi dla większości parametrów gleb pokazują, że użytkowanie terenu lub kategoria agronomiczna są czynnikami znacznie silniej wpływającymi na wartości analizowanych parametrów gleb niż wysokość n.p.m. (tab. 1). Z wykorzystaniem wag z tabeli 1, parametry gleb zostały wyinterpolowane na obszarze kraju przez przypisanie wartości interpolowanych parametrów do poligonów mapy glebowo-rolniczej w skali 1:100 000.





Rys.1. Dopasowanie wartości przewidywanych i mierzonych dla składników pokarmowych w glebach (zawartości:  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  i  $Mg$ ) i wodach gruntowych (zawartość  $N-NO_3$ )

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 1

Estymowane wagi zmiennych dla warunków dodatkowych wykorzystywanych w interpolacji

Składnik pokarmowy	Zmienna dla warunku koniecznego zgodności	Wagi zmiennych dla warunków dodatkowych:			$R^2$	N
		kateg. agr.	użytk. terenu	wysokość n.p.m.		
Fosfor $P_2O_5$ $mg \cdot (100 g)^{-1}$	-	0,88	0,08	0,04	0,13	41536
Potas $K_2O$ $mg \cdot (100 g)^{-1}$	-	0,28	0,72	0,00	0,07	41536
Magnez $Mg$ $mg \cdot (100 g)^{-1}$	-	1,00	0,00	0,00	0,02	41536
Azot azotanowy $N-NO_3$ $mg \cdot dm^{-3}$	-	0,05	0,95	0,00	0,34	1697

Źródło: opracowanie własne

Pomimo że nawożenie jest tylko jedną ze składowych bilansu składników pokarmowych w glebie, w gospodarstwach podobnego typu ilość składników pokarmowych wynoszonych z plonem jest w pierwszym przybliżeniu liniową funkcją nawożenia (np. Sylvester-Bradley i in., 2009 (23); Quemada i in., 2020 (19)) co sprawia, że można w nich oczekiwać również liniowej relacji pomiędzy nawożeniem a saldem bilansu składnika pokarmowego.

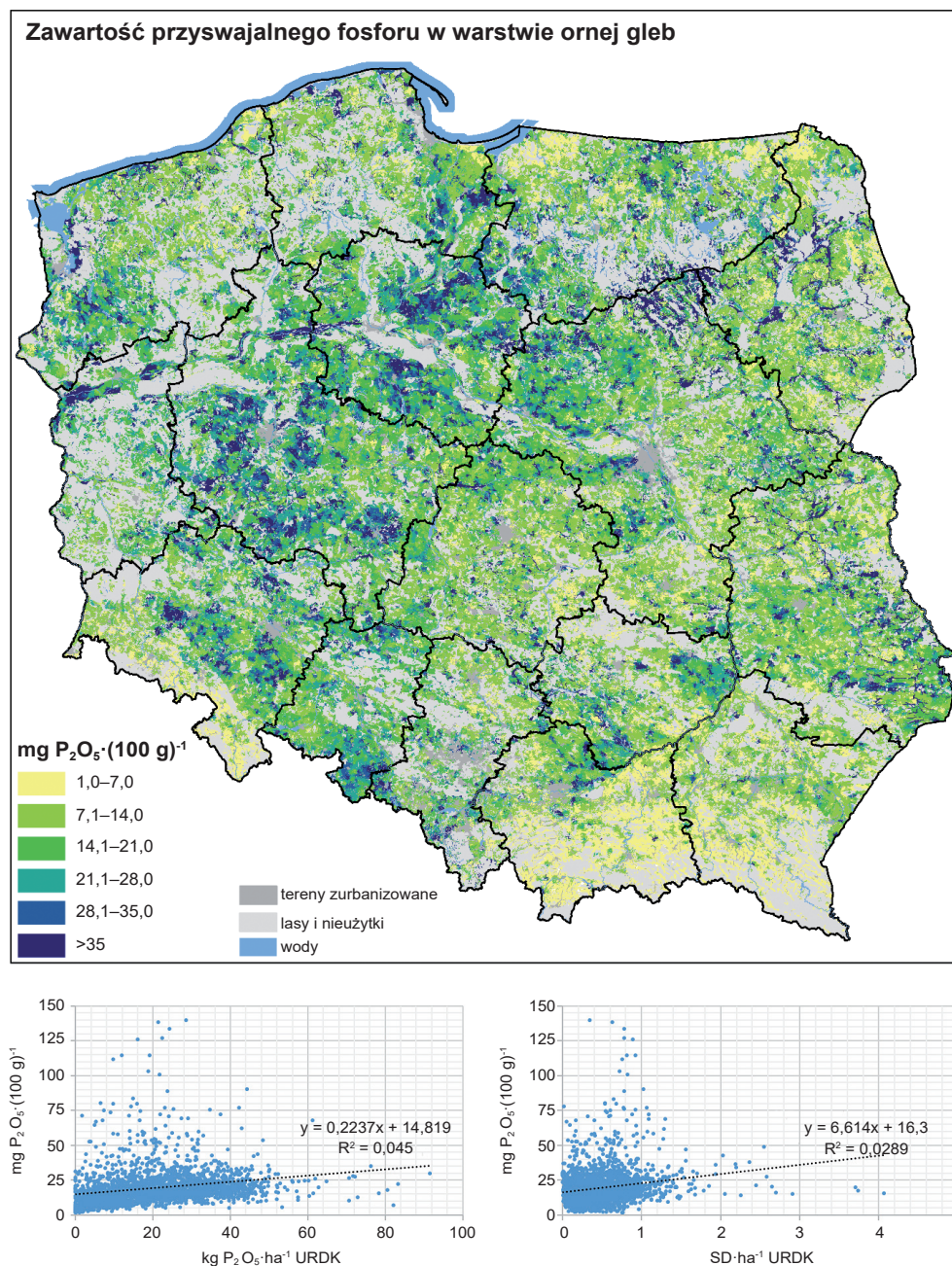
Podjęto więc próbę objaśnienia interpolowanych parametrów zasobności gleb, uśrednionych na UR gmin, metodą regresji liniowej wielokrotnej, gdzie zmiennymi niezależnymi były średnie ładunki nawozów mineralnych (w przeliczeniu na odpowiedni czysty składnik) stosowanych na powierzchni jednostkowej 1 ha użytków rolnych w dobrej kulturze (URDK) oraz obsada zwierząt na 1 ha URDK wyrażona w sztukach dużych (SD). Porównań dokonano na poziomie gmin, ponieważ jest to najniższy poziom jednostek administracyjnych, dla których dostępne są oficjalne dane dotyczące nawożenia i obsady zwierząt (6). W przypadku regresji dla magnezu ze względu na brak danych o stosowaniu Mg w przeliczeniu na czysty składnik używano jako substytut wielkość wapnowania w przeliczeniu na tlenek wapnia CaO, ponieważ stosowanie jednego z nawozów wapniowych (wapna magnezowego) jest jednym z głównych źródeł magnezu dla gleb. Dokonując analizy regresji z pełnej bazy zawierającej dane dla 2479 gmin, usunięto 8 rekordów dla gmin z powierzchnią URDK równą zero; 1 gminę z obsadą zwierząt powyżej  $14 \text{ SD} \cdot \text{ha}^{-1}$  URDK (wszystkie inne gminy poza jedną miały obsadę mniejszą od  $4 \text{ SD} \cdot \text{ha}^{-1}$  URDK) oraz 1 gminę, dla której na mapie glebowo-rolniczej nie istniały poligony gleb UR.

Na podstawie uzyskanych równań regresji obliczono różnicę pomiędzy wartością parametru przewidywaną z równania regresji a obserwowaną i wyniki przedstawiono na mapach.

Mapy te poddano następnie analizie opisowej celem wstępnej identyfikacji potencjalnych czynników (innych niż nawożenie), które mają wpływ na zasobność gleb bądź stężenie azotanów.

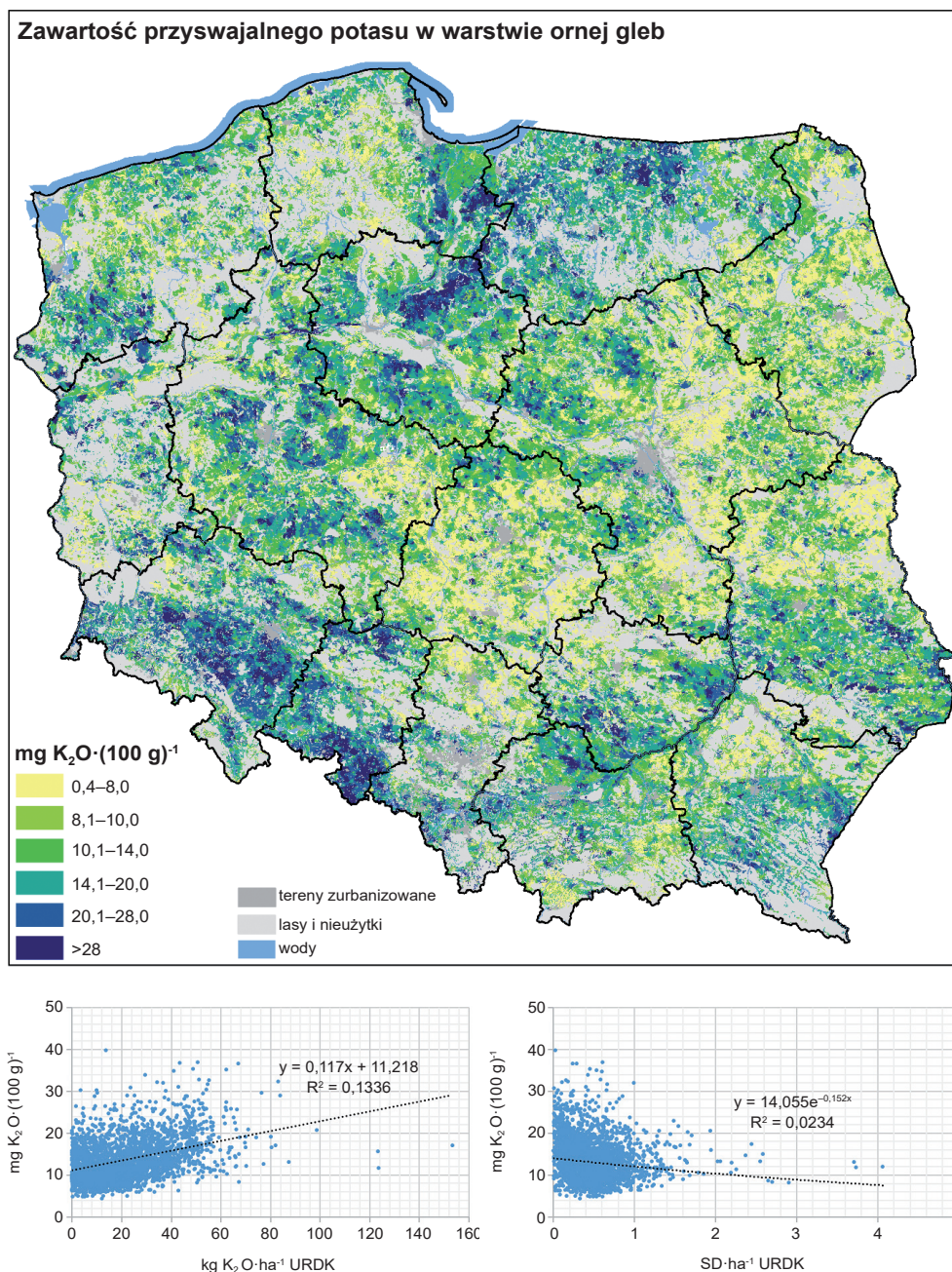
## Wyniki

Uzyskane w formie map wyniki interpolacji zasobności gleb w przyswajany fosfor  $\text{P}_2\text{O}_5$ , potas  $\text{K}_2\text{O}$  i magnez Mg oraz wynik interpolacji stężenia azotanów  $\text{N-NO}_3$  w wodach drenarskich zestawiono z odpowiednimi wykresami ilustrującymi zależność poszczególnych parametrów od nawożenia mineralnego i obsady zwierząt (rys. 2–5). Obliczono także uśrednione w województwach (tab. 2) wartości interpolowanych parametrów na poligonach kompleksów przydatności rolniczej gleb należących do UR (wg mapy glebowo rolniczej w skali 1:100 000).



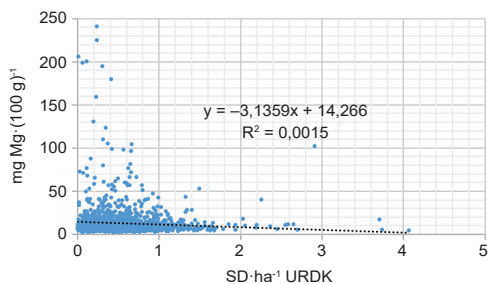
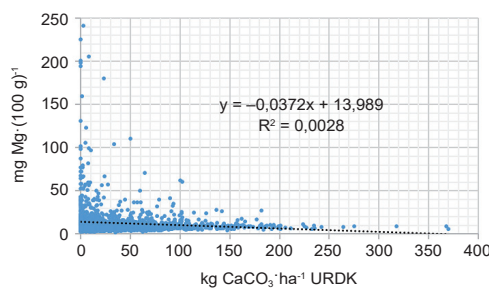
Rys. 2. Mapa zasobności gleb w  $\text{P}_2\text{O}_5$  oraz zależność zasobności od nawożenia mineralnego i obsady zwierząt w gminach

Źródło: opracowanie własne



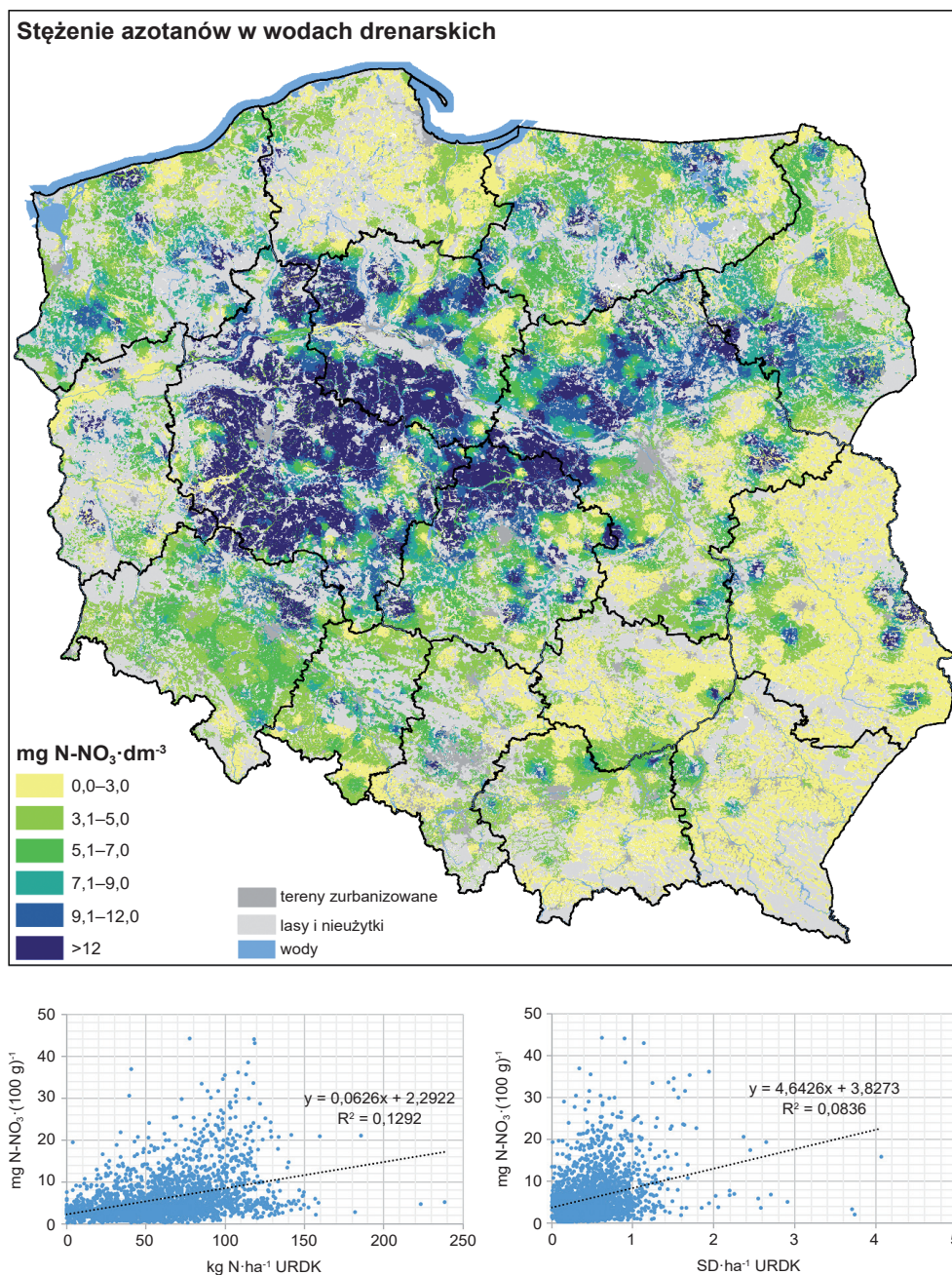
Rys. 3. Mapa zasobności gleb w K<sub>2</sub>O oraz zależność zasobności od nawożenia mineralnego i obsady zwierząt w gminach

Źródło: opracowanie własne



Rys. 4. Mapa zasobności gleb w Mg oraz zależność zasobności od nawożenia mineralnego i obsady zwierząt w gminach

Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Mapa stężenia azotanów N-NO<sub>3</sub> oraz zależność stężenia od nawożenia mineralnego i obsady zwierząt w gminach

Źródło: opracowanie własne

Tabela 2

Zasobność gleb w składniki pokarmowe w podziale na województwa (wartości interpolowane)

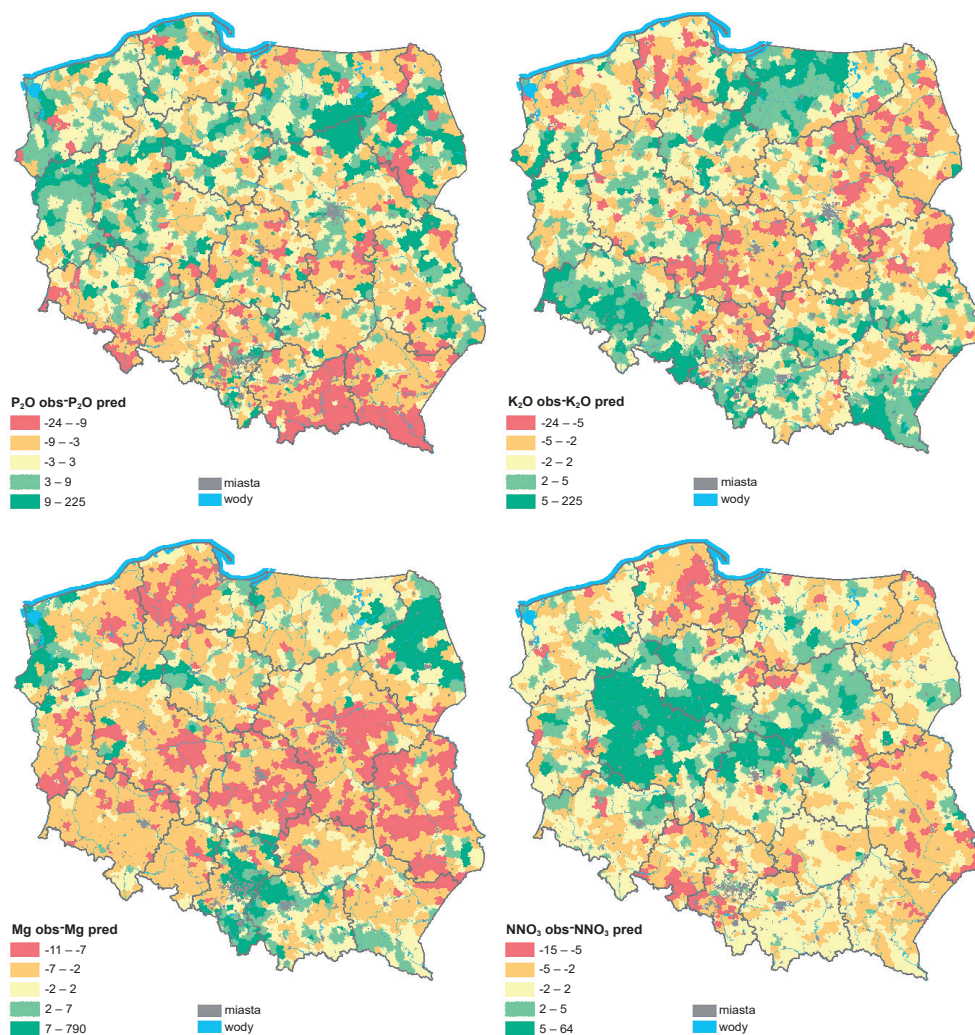
Województwo	Średnia zawartość w mg·(100 g) <sup>-1</sup> w warstwie ornej gleb UR			Średnie stężenie N-NO <sub>3</sub> w mg·dm <sup>-3</sup> w wodach drenarskich
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	
Dolnośląskie	17,8	18,9	8,2	5,8
Kujawsko-pomorskie	26,6	16,4	11,4	12,0
Lubelskie	19,8	12,9	7,4	2,5
Lubuskie	26,6	14,7	9,3	5,0
Łódzkie	17,7	10,1	7,3	8,9
Małopolskie	9,9	13,6	20,8	3,2
Mazowieckie	23,0	11,5	7,8	6,9
Opolskie	19,6	20,2	8,9	4,5
Podkarpackie	9,4	14,3	10,8	1,6
Podlaskie	24,9	10,3	19,4	5,6
Pomorskie	20,0	13,8	9,2	2,9
Śląskie	18,0	13,6	34,8	3,5
Świętokrzyskie	16,7	15,0	9,1	3,0
Warmińsko-mazurskie	25,2	16,9	12,4	5,3
Wielkopolskie	25,6	14,6	9,6	16,0
Zachodniopomorskie	20,3	13,6	14,1	5,6
POLSKA	20,6	14,0	11,6	6,4

Źródło: opracowanie własne

Równania uzyskane dla poszczególnych parametrów zasobności gleb po usunięciu zmiennych w regresji statystycznie nieistotnych lub posiadających znak estymowanego współczynnika niezgodny (ujemny) z planowaną interpretacją nawożenia i obsady zwierząt jako czynników wzbogacających glebę w składniki pokarmowe mają postać:

$$\begin{aligned}
 C_{P_2O_5} &= 12,6 + 0,20F_{P_2O_5} + 5,5 SD & R^2 &= 0,064 \\
 C_{K_2O} &= 11,2 + 0,117F_{K_2O} & R^2 &= 0,134 \\
 C_{Mg} &= 12,8 \\
 C_{NNO_2} &= 1,0 + 0,055F_N + 3,6 SD & R^2 &= 0,177
 \end{aligned}$$

Reszty dla powyższych modeli regresji, tzn. różnice pomiędzy wartościami parametrów zasobności gleb przewidywanymi z powyższych równań a obserwowanymi w gminach przedstawiono na mapkach (rys. 6)



Rys. 6. Przestrzenny rozkład reszt modeli regresji dla poszczególnych parametrów zasobności gleb  
Źródło: opracowanie własne

## Dyskusja

Analiza opracowanych map zasobności gleb wskazuje, że najbardziej zasobne w przyswajalny fosfor i potas są obszary, na których prowadzona jest towarowa produkcja roślinna głównie w województwach: opolskim, dolnośląskim, lubuskim, wielkopolskim, kujawsko-pomorskim i warmińsko-mazurskim (rys. 2–3). Podobny rozkład wysokich wartości zasobności w fosfor i potas wykazują rezultaty interpolacji pomiarów monitoringu LUCAS (1). Pomimo że zachodzi duża wizualna



zgodność zasobności gleb dla fosforu, potasu i magnezu z danymi o nawożeniu w gminach, zarejestrowanymi w trakcie Powszechnego Spisu Rolnego w 2010 roku i zwizualizowanymi w formie map dla gmin (16), to jednak stosunkowo niski stopień wyjaśnienia zasobności przez nawożenie i obsadę zwierząt ( $R^2 = 0,064$  dla  $P_2O_5$  i  $R^2 = 0,134$  dla  $K_2O$ ) wskazuje na istnienie innych czynników objaśniających. Analiza reszt dla fosforu  $P_2O_5$  (rys. 6) wskazuje, że prawdopodobnym wyjaśnieniem ich przestrzennego rozkładu jest skład skał macierzystych gleb, gdyż obszary górskie i podgórskie są ubogie w fosfor. W przypadku potasu  $K_2O$  najważniejszą rolę wydaje się odgrywać wymywanie z gleb lekkich i o niskim odczynie pH (rys. 6). Dla przyswajalnego magnezu relacja z nawożeniem CaO oraz obsadą zwierząt była ujemna i na granicy istotności, co może sugerować na obszarach intensywnego rolnictwa niewielką przewagę wynoszenia z plonem nad suplementacją w nawozach. Widoczne są też dla Mg (rys. 4) wyraźne szlaki wymycia pierwiastka z obszarów górskich i akumulacji w madach dolin rzecznych, głównie w górnym dorzeczu Wisły. Wysoka przyswajalność Mg oraz jego podatność na wymywanie w glebach Małopolski i Podkarpacia wynika ze znacznego udziału gleb zakwaszonych oraz charakteru skały macierzystej gleb na tych obszarach.

W przypadku stężeń azotanów obserwuje się ich wysokie wartości w obszarze nizin środkowej Polski (rys. 5), gdzie nakładają się strefa niskich opadów i obszar intensywnej produkcji zwierzęcej. Obszary te pokrywają się w większości z zasięgiem obszarów presji rolniczej z wysokimi średnimi stężeniami azotanów (powyżej  $10 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) modelowanymi deterministycznie jako stosunek salda bilansu azotu do odpływu (9). Model stosowany dla wyznaczania obszarów presji, na podobnym zestawie danych wyjaśnił podobną część przestrzennej zmienności stężeń ( $R^2 = 0,35$ ) jak zastosowana w tej pracy interpolacja ( $R^2 = 0,34$ ). Uzasadnieniem rozkładu reszt dla  $N\text{-NO}_3$  (rys. 6) jest więc zróżnicowanie stężenia w wodach odcieków glebowych ze względu na ich objętość warunkowaną stosunkiem opadów do ewapotranspiracji.

Przewidywania modeli regresji dla  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  i Mg są gorsze niż dla azotanów, prawdopodobnie dlatego, że są to składniki słabiej wymywane z gleby, a więc niezależne od czynników meteorologicznych o małej zmienności przestrzennej, natomiast zależne od czynników lokalnych o wysokiej zmienności przestrzennej i niekoniecznie powiązanych z użytkowaniem terenu czy uziarnieniem gleb, takich jak: intensywność produkcji czy skład skały macierzystej.

### Podsumowanie

Najbardziej zasobne w przyswajalny fosfor i potas są obszary gleb, na których prowadzona jest towarowa produkcja roślinna. Wysokie stężenia azotanów obserwuje się w obszarze nizin środkowej Polski gdzie nakładają się strefa niskich opadów i obszar intensywnej produkcji zwierzęcej. W największym stopniu nawożeniem i obsadą zwierząt można wyjaśnić stężenia azotanów  $N\text{-NO}_3$  w wodach drenarskich ( $R^2 = 0,177$ ) oraz zasobność gleb w potas przyswajalny  $K_2O$  ( $R^2 = 0,134$ ),

a w znikomym – w przyswajalny fosfor  $P_2O_5$  ( $R^2 = 0,064$ ) i magnez Mg. Analiza reszt modeli regresji wskazuje, że duży wpływ na zasobność gleb w przyswajalny potas ma prawdopodobnie łatwość wymycia na glebach kwaśnych, na zasobność w przyswajalny fosfor – mała podatność na wymywanie i skład skał macierzystych gleb, a w przyswajalny magnez – wymywanie z obszarów górskich i akumulacja w dolinach rzek.

## Literatura

1. Ballabio C., Lugato E., Fernandez-Ugalde O., Orgiazzi A., Jones A., Borelli P., Montanarella L., Panagos P.: Mapping LUCAS topsoil chemical properties at European scale using Gaussian process regression. *Geoderma* 355, 2019, 113912. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113912>
2. Bonan G.B., Hartman M.D., Parton W.J., Wieder W.R.: Evaluating litter decomposition in earth system models with long-term litterbag experiments: an example using the Community Land Model version 4 (CLM4). *Global Change Biology*, 2013, **19**: 957-974. <https://doi.org/10.1111/gcb.12031>
3. Dhakal C., Lange K., Parajulee M., Segarra E.: Dynamic optimization of nitrogen in plateau cotton yield functions with nitrogen carryover considerations. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 2019, **51(3)**: 385-401. <https://doi.org/10.1017/aae.2019.6>
4. Fotyła M., Kęsik K., Pietruch C.: Azot mineralny w glebach jako wskaźnik potrzeb nawozowych roślin i stanu czystości wód glebowo-gruntowych, *Nawozy i Nawożenie*, 2010, **38**: 5-83. ISSN 1509-8095
5. GUS, 2019: Ochrona środowiska 2019. ISSN 0867-3217 <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/srodowisko/ochrona-srodowiska-2019,1,20.html>
6. GUS, 2010: Dane Powszechnego Spisu Rolnego 2010. <https://bdl.stat.gov.pl/BDL/dane/podgrup/temat>
7. Harper D.C., Lambert D.M., Larson J.A., Gwathmey C.O.: Potassium carryover dynamics and optimal application policies in cotton production, *Agricultural Systems*, 2012, **106(1)**: 84-93. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.10.014>
8. Jadczyzyn T., Pietruch C., Lipiński W.: Resortowy monitoring zawartości azotu mineralnego w glebach Polski w latach 2007–2009, *Nawozy i Nawożenie*, 2010, **38**: 84-110. ISSN 1509-8095
9. Jadczyzyn T., Łopatka A., Jadczyzyn J., Koza P.: Raport na zlecenie MRiRW „Ocena presji rolniczej na stan wód powierzchniowych i podziemnych oraz wskazanie obszarów szczególnie narażonych na zanieczyszczenia azotanami pochodzenia rolniczego”. IUNG-PIB Puławy, 2011.
10. Jadczyzyn T.: Baza danych MonitAzot dla lat 2008–2014 opracowana na potrzeby korekty wyznaczenia obszarów presji rolniczej. 2016.
11. Jurga B., Kopiński J.: Bilanse azotu i fosforu jako wskaźniki oddziaływania rolnictwa na środowisko. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy*, 2016, **47(1)**: 125-138. <https://doi.org/10.26114/sir.iung.2016.47.07>
12. Kopiński J., Matyka M.: Ocena regionalnego zróżnicowania współzależności czynników przyrodniczych i organizacyjno-produkcyjnych w polskim rolnictwie, *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 2016, **1(346)**: 57-79. <https://doi.org/10.30858/zer/83042>
13. Kopiński J., Ochal P.: Gospodarowanie potasem w warunkach zóżnicowanej zasobności gleb. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy*, 2013, **34(8)**: 75-90. <https://doi.org/10.26114/sir.iung.2013.34.06>

14. Kuś J., Kopyński J.: Gospodarowanie glebową materią organiczną we współczesnym rolnictwie, *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego*, 2012, **2/2012(68)**: 5-27.
15. Lambert D.M., Lowenberg-DeBoer J., Malzer G.: Managing phosphorus soil dynamics over space and time. *Agric. Econ.*, 2007, **37**: 43-53. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2007.00221.x>
16. Łopatka A.: Europejski monitoring użytkowania gruntów i baza danych glebowych LUCAS. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, Puławy, 2017, **51(5)**: 73-89. <https://doi.org/10.26114/sir.iung.2017.51.05>
17. Łopatka A., Koza P., Stuczyński T.: Metodyka interpolacji opracowana na potrzeby tworzenia map zagrożeń gleb. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, Puławy, 2018, **58(12)**: 25-34. <https://doi.org/10.26114/sir.iung.2018.58.02>
18. MRiRW, IUNG-PIB, 2017: Technical report presenting the methodology used to designate areas facing natural constraints in Poland based on biophysical criteria. Warsaw, 58 p. Informacja o bazie danych: <http://onw.iung.pulawy.pl/biofizyczne/ph>
19. Quemada M., Lassaletta L., Jensen L.S., Godinot O., Brentrup F., Buckley C., Foray S., Hvid S.K., Oenema J., Richards K.G., Oenema O.: Exploring nitrogen indicators of farm performance among farm types across several European case studies. *Agricultural Systems*, 2020, **177**: 102689. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102689>.
20. Siebielec G.: Stały monitoring gleb użytków rolnych Polski, *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, **51(5)**: 57-72. <https://doi.org/10.26114/sir.iung.2017.51.04>
21. Siebielec G., Kaczyński R., Smreczak B.: Materia organiczna w glebach mineralnych, *Studia i Raporty IUNG-PIB*, Puławy, 2020, **XX(XX)**: X-XX. <https://doi.org/>
22. Smreczak B.: Program Wieloletni IUNG-PIB na lata 2016–2020; Zadanie 1.3: Monitorowanie różnych parametrów środowiska glebowego dla właściwej oceny WPR. 2016. [http://pw.iung.pl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=182Itemid%3D99&Itemid=99](http://pw.iung.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=182Itemid%3D99&Itemid=99)
23. Sylvester-Bradley R., Kindred D.R.: Analysing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, 2009, **60(7)**: 1939-1951. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp116>
24. Todd-Brown K.E.O., Randerson J.T., Post W.M., Hoffman F.M., Tarnocai C., Schuur E.A.G., Allison S.D.: Causes of variation in soil carbon simulations from CMIP5 Earth system models and comparison with observations, *Biogeosciences*, 2013, **10**: 1717-1736. <https://doi.org/10.5194/bg-10-1717-2013>

---

Adres do korespondencji:

*mgr Artur Łopatka*  
*Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy*  
*tel. 81 47 86 781*  
*email: artur@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR	ORCID
Artur Łopatka	0000-0002-6977-4464
Grzegorz Siebielec	0000-0001-8089-6123
Bożena Smreczak	0000-0001-8972-8636

Grzegorz Siebielec, Sylwia Siebielec

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

## BIORÓŻNORODNOŚĆ GLEB\*

**Słowa kluczowe:** bioróżnorodność, degradacja, organizmy glebowe, mikroorganizmy, praktyki rolnicze

### Rola bioróżnorodności gleb

Populacja ludzi na świecie stale rośnie i oczekuje się, że do 2030 roku osiągnie 8,6 miliarda. Dla zapewnienia jej przyszłości niezbędne jest zrównoważone gospodarowanie bogactwami naturalnymi, w tym glebami, wodami, powietrzem, minerałami oraz bioróżnorodnością, która wspiera życie na Ziemi. Szacuje się, że nawet do 30% gruntów na świecie uległo już degradacji (46)

Termin „różnorodność biologiczna” (ang. *biological diversity*) został stworzony przez Thomasa Lovejoya w 1980 r. Różnorodność biologiczna jest określana jako suma wszystkich zmienności biotycznych od poziomu genów do ekosystemów (52).

Różnorodność biologiczna gleby, która podtrzymuje ekosystemy i życie na Ziemi była w dużej mierze pomijana w globalnych strategiach. Aktywność biologiczna i złożone interakcje, jakie zachodzą w środowisku glebowym stanowią podstawę wielu funkcji ekosystemu, w tym obiegu składników odżywczych, kontroli patogenów, infiltracji wody, tworzenia łańcuchów troficznych. Priorytetem w badaniach naukowych jest z pewnością zrozumienie powiązań między różnorodnością biologiczną gleby a równowagą, jaka powinna panować na Ziemi (18, 60).

Konwencja o różnorodności biologicznej (CBD) zdefiniowała różnorodność biologiczną gleby jako „zróżnicowanie życia w glebie, od genów po zbiorowiska i kompleksy ekologiczne, których są częścią, czyli od mikrosiedlisk glebowych po krajobrazy”. Pojęcie różnorodności jest tradycyjnie używane w sensie genetycznym

\* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

i oznacza liczbę odrębnych gatunków (bogactwo) oraz ich proporcjonalną liczebność, ale można je rozszerzyć na różnorodność fenotypową, funkcjonalną, strukturalną lub troficzną. Całkowita ilość biomasy pod ziemią jest na ogół równa lub przewyższająca poziom nadziemny, podczas gdy biomasa organizmów glebowych przewyższa o rzędy wielkości biomasę organizmów na powierzchni gleby. Niektóre liczby dobrze opisują poziom różnorodności biologicznej gleby: łyżeczka gleby może zawierać zazwyczaj miliard komórek bakteryjnych (co odpowiada około dziesięciu tysiącom różnych genomów bakterii), do miliona pojedynczych grzybów, około miliona komórek protistów i kilkaset nicieni. Oprócz mikroorganizmów i mikrofauny w glebie żyją różne gatunki mezo- i makro- oraz megafauny reprezentowane przez stawonogi, dżdżownice i ssaki (34).

Podobnie jak większość zasobów, z których ludzie korzystają, gleby i ich różnorodność biologiczna są zagrożone. Gleby to w zasadzie nieodnawialne zasoby, ponieważ nie można ich odtworzyć w ciągu ludzkiego życia. Istotnym krokiem w kierunku zapobiegania utracie gatunków zamieszkujących glebę jest postrzeganie gleby jako siedliska wymagającego ochrony. Utrata siedlisk spowodowana zmianą użytkowania gruntów i zmianami klimatu jest głównym zagrożeniem dla fauny i flory, a rolnictwo w największym stopniu powoduje utratę naturalnych siedlisk. Różnorodność biologiczna spada na całym świecie poprzez przekształcanie gruntów na cele rolnicze i zarządzanie nimi w intensywny sposób (26, 45). Jak sugerują dane literaturowe, zmiany bioróżnorodności mogą wpływać na usługi ekosystemowe gleby, takie jak obieg węgla i składników odżywczych oraz naturalna ochrona przed szkodnikami. Mniej intensywne rolnictwo, takie jak rolnictwo ekologiczne, może wzmocnić samoregulację systemów glebowych, wiąże się to jednak ze zmniejszeniem plonów (60).

Fauna i flora glebowa jest bardziej obfita w gatunki w porównaniu z większością innych siedlisk na Ziemi (48). Rozmiar organizmów glebowych obejmuje wiele rzędów wielkości, co wymaga odpowiedniego doboru skali przestrzennej, w której należy badać bioróżnorodność gleby. Ekolodzy gleby od dawna badają stan i przyczyny zmian różnorodności biologicznej w glebach. W ostatnich latach badania dotyczące bioróżnorodności gleb wskazują na jej rolę dla funkcji i usług ekosystemowych, choć wiele zależności jest w dalszym ciągu niewystarczająco poznanych (5, 46, 67). Ponadto ostatnie postępy metodyczne, takie jak sekwencjonowanie, umożliwiły badania różnorodności biologicznej gleby z większą precyzją oraz wgląd w różnorodność biologiczną gleby w różnych skalach, a także na poziomie genetycznym (4, 29).

Ocena roli bioróżnorodności gleby w regulowaniu wielofunkcyjności gleb jest niezbędna, aby lepiej zrozumieć potencjalne konsekwencje utraty różnorodności biologicznej gleby dla utrzymania wielu funkcji i usług ekosystemowych, które mają kluczowe znaczenie dla globalnego zrównoważonego rozwoju (19). Jest również prawdopodobne, że różne grupy organizmów glebowych pełnią różną rolę w utrzymaniu wielofunkcyjności. Na przykład większe bezkręgowce glebowe (takie jak pierścienice, niesporczaki, stawonogi i płazińce) są odpowiedzialne za

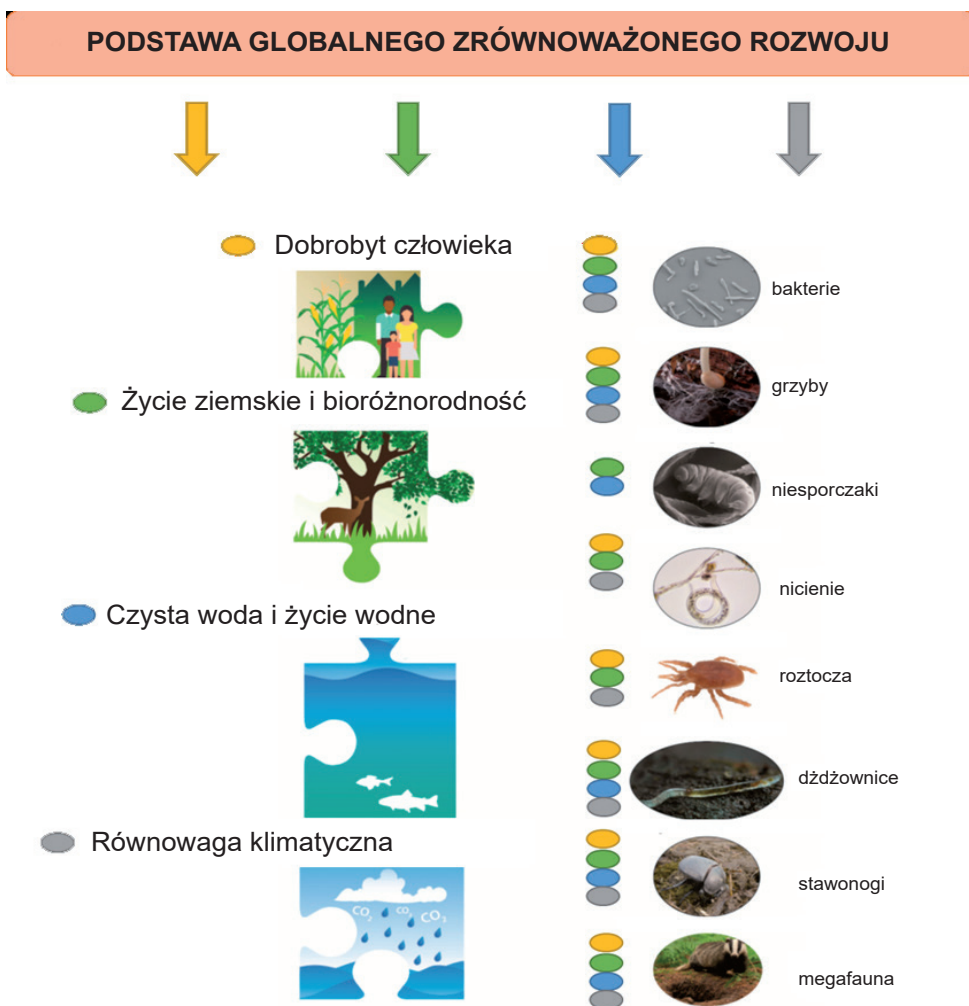
przetwarzanie dużych ilości szczątków roślin i zwierząt. Z kolei różnorodność biologiczna mikroorganizmów glebowych (takich jak protisty, bakterie i grzyby) może mieć fundamentalne znaczenie dla utrzymania wielu funkcji i przepływu energii w glebie, przy czym nadal będą one zależne od aktywności makrobioty (19, 28). Badania wskazują, że liczebność określonych i powiązanych ze sobą taksonów ma fundamentalne znaczenie dla utrzymania wysokiego potencjału funkcjonalnego gleby. Jednocześnie możliwość monitorowania kluczowych gatunków może być podstawą monitorowania funkcji ekosystemów glebowych (19).

Różnorodność gatunków jest jednym z najważniejszych atrybutów społeczności organizmów glebowych, który wpływa na stabilność i produktywność gleby. Różnice w różnorodności gatunkowej mogą być związane z kilkoma czynnikami, takimi jak lokalizacja, klimat lub typy użytków zielonych (68). Różnorodność gatunkową charakteryzuje się poprzez takie wskaźniki, jak: bogactwa gatunków Patricka, różnorodności Margalefa, różnorodności Simpsona, różnorodności Shannona-Wienera itd. (68). Wskaźniki te mogą być wykorzystywane jako stosunkowo wrażliwe miary negatywnych zmian w środowisku glebowym i całych ekosystemach.

Pomimo ogromnego postępu metodycznego badania nad różnorodnością biologiczną gleby są nadal na dość wstępnym etapie. Liczba publikacji jest wciąż ograniczona, a badania są utrudnione ze względu na złożoność ekosystemu glebowego z wieloma interakcjami między wpływającymi na siebie parametrami biotycznymi i abiotycznymi. Obecnie większość prac koncentruje się na porównaniach różnych systemów użytkowania gruntów, rodzajów nawozów, pestycydów i systemów uprawy oraz powiązanych efektach interakcji (17, 37, 60). W Polsce brak jest jak dotychczas stałego monitoringu zmian bioróżnorodności i aktywności organizmów glebowych w zależności od warunków glebowo-klimatycznych oraz pełnego usystematyzowania wpływu rolnictwa na bioróżnorodność gleb i jej funkcje.

Rola bioróżnorodności dla rolnictwa wiąże się z wkładem jaki wnoszą organizmy glebowe w cykle składników odżywczych, regulację dynamiki przemian materii organicznej gleby, sekwestrację węgla w glebie i emisję gazów cieplarnianych, modyfikację właściwości fizycznych gleby, dostępność składników pokarmowych dla roślin oraz kondycję roślin.

Organizmy glebowe odpowiadają za wiele usług ekosystemowych, które stanowią podstawę globalnego zrównoważonego rozwoju (rys. 1). Usługi ekosystemowe dostarczane przez środowisko glebowe mogą mieć charakter wspierający (np. produkcja podstawowa i różnorodność biologiczna) lub regulacyjny (np. kontrola erozji, filtracja wody, retencja składników odżywczych, regulacja gazów atmosferycznych i zwalczanie szkodników) (16, 53).



Rys. 1. Organizmy glebowe – podstawa globalnego zrównoważonego rozwoju. Kolorowe kółka obok każdego typu organizmu wskazują, do którego z czterech nadrzędnych części zrównoważonego rozwoju organizm przyczynia się bezpośrednio

Źródło: Bach i in., 2020 (3)

Wiele usług ekosystemowych gleb zależy od różnorodności biologicznej flory i fauny glebowej (6, 13). Usługi ekosystemowe zapewniane przez faunę i florę gleby to m.in.: stymulowanie obiegu składników odżywczych oraz regulacja przepływu i magazynowania wody; biologiczna regulacja występowania szkodników i chorób; utrzymanie struktury gleby; rozkład ksenobiotyków oraz regulacja składu atmosfery (33). W związku z tym gleby o dużej różnorodności biologicznej mogą wymagać mniejszych nakładów w postaci nawozów oraz różnego rodzaju agrochemikaliów.

W konsekwencji zrównoważone użytkowanie gruntów wiąże się z ochroną różnorodności biologicznej gleby, która jest warunkiem wstępnym stabilności ekosystemu przed zewnętrznymi zakłóceniami. Zdrowie gleby jest gwarancją utrzymania lub poprawy produktywności i jakości roślin, a także powietrza i wody (36)

Gleby są ważnym globalnie rezerwuarem różnorodności biologicznej, w którym znajduje się co najmniej jedna czwarta wszystkich żywych organizmów na naszej planecie. Są środowiskiem życia wielu organizmów, takich jak: bakterie, grzyby, dżdżownice, wazonkowce, nicienie, stonogi, wiję, skoczogonki, owady i ich larwy, roztocza i wiele innych (7, 18, 54, 66).

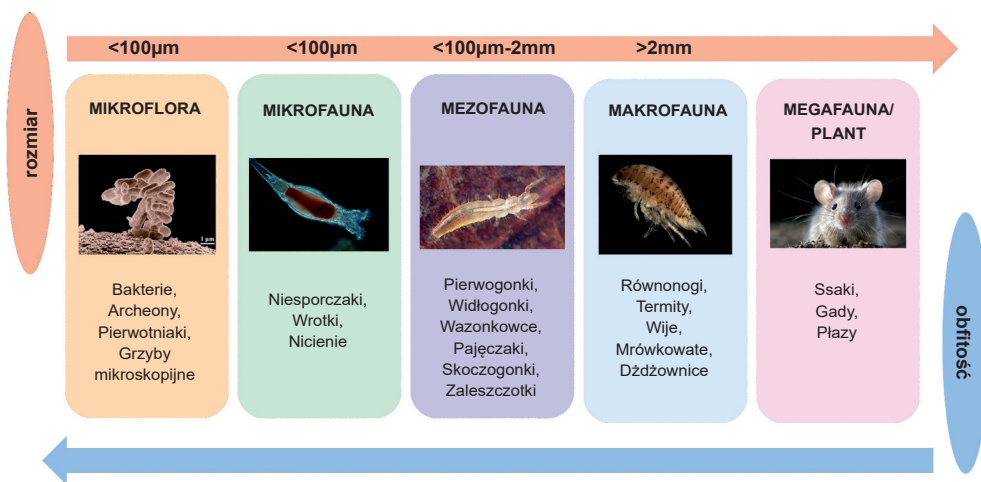
Zdolność gleb do świadczenia usług ekosystemowych w dużym stopniu zależy od jej różnorodności biologicznej (5), do tego stopnia, że bioróżnorodność gleby jest często uznawana za podstawę bezpieczeństwa gleby. Uważa się, że gleby o większej różnorodności biologicznej mają wrodzoną odporność na zmiany wywołane różnymi czynnikami biotycznymi i abiotycznymi. Utrata różnorodności biologicznej może prowadzić do obniżenia odporności gleby na degradację i jej obniżonej zdolności do regeneracji (1).

Wiele organizmów glebowych, w tym bakterie, grzyby, nicienie, skoczogonki, dżdżownice, bierze udział w rozkładzie i transformacji obornika, resztek poźniowych i korzeni. Procesy te uwalniają składniki odżywcze dla roślin uprawnych, a jednocześnie przyczyniają się do zatrzymywania wody niezbędnej do prawidłowego funkcjonowania (64). Ponadto skład i różnorodność zbiorowisk organizmów glebowych są ważnymi wskaźnikami żyzności gleby. W glebach rolniczych drobnoustroje odgrywają istotną rolę we wspieraniu rozwoju roślin poprzez wiązanie azotu, solubilizację fosforu, syntezę hormonów roślinnych. Interakcje zachodzące w ryzosferze pomiędzy roślinami a mikroorganizmami wpływają korzystnie na prawidłowy rozwój korzeni i nadziemnej biomasy (63).

### **Elementy bioróżnorodności gleb**

Organizmy glebowe tworzące różnorodność biologiczną gleb można podzielić na pięć głównych grup pod względem ich rozmiarów (rys. 2). Są to: drobnoustroje oraz mikrofauna o szerokości ciała poniżej 100  $\mu\text{m}$ ; mezofauna o szerokości ciała od 100  $\mu\text{m}$  do 2 mm; makrofauna i megafauna, większe niż 2 mm (tab. 1). Chociaż granice wielkości dla poszczególnych grup są powszechnie uzgodnione, klasyfikacje mogą się różnić, ponieważ niektóre taksony przekraczają granice rozmiarów i mogą być interpretowane w różnych kategoriach wielkości organizmu (62).





Rys. 2. Wraz ze wzrostem wielkości ciała zmniejsza się liczebność organizmów glebowych.  
Schemat z Global Soil Biodiversity Atlas – modyfikacja własna

Źródło: Tibbett i in., 2020 (62)

Tabela 1

Hierarchia wielkości i liczebności organizmów zamieszkujących glebę

Klasyfikacja	Biomasa ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Długość (mm)	Populacja ( $\text{m}^{-2}$ )
Mikroflora	1–100	-	$10^6$ – $10^{12}$
Mikrofauna	1,5–6,0	0,005–0,2	$10^6$ – $10^{12}$
Mezofauna	0,01–10	0,2–10	$10^2$ – $10^7$
Makrofauna	0,1–2,5	10–20	$10^2$ – $10^7$
Megafauna	10–40	$\geq 20$	$0$ – $10^3$

Źródło: Dindal, 1990 (21)

## Mikroflora

Mikroflora glebowa to ogół mikroorganizmów glebowych (bakterii i drobnych grzybów lub grzybopodobnych protistów) pełniących szereg istotnych funkcji. Bakterie to najmniejsze i najliczniejsze organizmy żyjące w glebie. Mogą żyć zarówno w warunkach tlenowych, jak i beztlenowych. Duże znaczenie dla żyzności gleby mają bakterie wiążące wolny azot atmosferyczny. Najlepiej rozpoznanym mechanizmem jest tworzenie układów symbiotycznego wiązania azotu atmosferycznego z bakteriami z rodzajów *Rhizobium* i *Bradyrhizobium* (32). W agroekosystemach rolniczych azot jest głównym składnikiem odżywczym wpływającym na wzrost roślin. Biologiczne wiązanie azotu jest zatem podstawowym mechanizmem zrównoważonej produkcji rolnej i zdrowego funkcjonowania ekosystemu (41).

Promieniowce, znane z produkcji szerokiej gamy metabolitów wtórnych, odgrywają również istotną rolę w środowisku glebowym. Uczestniczą w obiegu materii organicznej, hamowaniu wzrostu patogenów roślinnych w ryzosferze, biologicznym buforowaniu gleb, biologicznej kontroli środowiska glebowego poprzez wiązanie azotu i degradację związków o wysokiej masie cząsteczkowej. Dodatkowo poprawiają dostępność składników nawozowych i mikroelementów oraz promują wzrost roślin (9, 35).

Istotną rolę w środowisku glebowym odgrywają mikroorganizmy rozpuszczające fosfor. Oprócz ich wkładu w cykl krążenia fosforu, mikroorganizmy te wprowadzają do gleby wiele innych substancji stymulujących wzrost roślin, takich jak: siderofory, auksyny, cytokiny czy witaminy (8). Ich obecność w glebie jest uzależniona od wielu chemicznych i fizycznych właściwości gleb (np. odczyn, skład granulometryczny, zawartość materii organicznej, zawartość fosforu), ale także od czynników klimatycznych (tj. pora roku, temperatura, opady). Biorąc pod uwagę gleby użytkowane rolniczo, oddziaływania wyżej wymienionych czynników modyfikowane są w mniejszym lub większym stopniu przez zabiegi agrotechniczne związane z uprawą roślin, w szczególności orkę, stosowanie nawozów i chemicznych środków ochrony roślin oraz płodozmian (55).

Grzyby to grupa organizmów eukariotycznych biorących udział w rozkładzie związków organicznych, takich jak np. celuloza, ligniny. Odgrywają podstawową rolę w różnych procesach fizjologicznych, a także w pobieraniu składników mineralnych i wody, przemianach chemicznych, biosyntezie biostymulatorów wspomagających rośliny w obliczu stresów środowiskowych, takich jak: susza, zasolenie, zanieczyszczenia (70).

## **Mikrofauna**

Mikrofauna to mikroskopijne organizmy zwierzęce o wielkości od 0,002 do 0,2 mm. Zalicza się do nich pierwotniaki (np. wiciowce, korzenionózki, orzęski) oraz organizmy tkankowe (np. nicienie). Nicienie to organizmy o nitkowatym kształcie ciała. Bytują głównie w górnej warstwie gleby, tj. 5–10 cm. Niektóre z nich żywią się szczątkami roślinnymi, przyczyniając się do ich rozkładu, inne z kolei żywią się bakteriami lub są wszystkożerne. Niektóre nicienie pasożytują na roślinach i powodują znaczne straty ekonomiczne. Jednym z bardziej znanych szkodników roślin uprawnych jest mątwik ziemniaczany (11). Istnieje pilna potrzeba znalezienia przyjaznych dla środowiska metod zwalczania szkodników, tak by praktyki te nie wiązały się ze znacznym ubytkiem bioróżnorodności gleb (51). Mikrofauna w ryzosferze odgrywa ważną rolę w uwalnianiu składników pokarmowych dostępnych dla roślin, akumulacji i stabilizacji węgla organicznego w glebie, oddziaływaniu hormonalnym na korzenie, kształtowaniu różnorodności mikroorganizmów i stabilności funkcjonalnej oraz bioremediacji skażonych gleb (14).

## **Mezofauna**

Przedstawicielami tej grupy są między innymi skoczogonki i roztocza. Ich obecność w glebie wykazuje znaczną sezonowość i uzależniona jest od doboru roślin w płodozmianie, systemu uprawy roli, zmian klimatycznych (susza, nadmierna wilgotność), odczynu gleby, zawartości próchnicy oraz typu gleby (2, 65).

Mezofauna glebowa odżywia się innymi organizmami glebowymi, mikroorganizmami, materiałem zwierzęcym, żywym lub rozkładającym się materiałem roślinnym, grzybami, algami, porostami, zarodnikami i pyłkami (12). Odgrywa ona ważną rolę w obiegu węgla, uczestniczy w procesach glebotwórczych i tworzeniu próchnicy. Ponadto przyspiesza tempo dekompozycji materii organicznej oraz wpływa na uwalnianie pierwiastków niezbędnych do rozwoju żywych organizmów. Mezofauna sprzyja powstawaniu struktury gruzelkowej gleby oraz odpowiada za utrzymanie równowagi biologicznej w glebie uprawnej (10).

## **Makrofauna**

Makrofauna glebowa, obejmująca między innymi dżdżownice i mrówki, w znacznym stopniu przyczynia się do rozwoju struktury gleby. W zrównoważonych agrosystemach dżdżownice korzystnie wpływają na produkcję roślinną, powodują zwiększoną aktywność wiązania azotu, większe ilości dostępnych makro- i mikroelementów, a także zwiększoną biosyntezę regulatorów wzrostu roślin. Dżdżownice są wrażliwe na poziom materii organicznej w glebie i zwykle występują obficie w zrównoważonych systemach gospodarowania, gdzie dostępna jest wystarczająca ilość resztek roślinnych (58).

Z kolei mrówki są głównymi drapieżnikami małych bezkręgowców i zapewniają kilka funkcji w agroekosystemach, takich jak: zapylenie roślin, mieszanie gleby, bioindykacja i regulacja szkodliwych dla upraw owadów. Ścieżki tworzone przez mrówki przy budowie gniazd pomagają napowietrzać glebę i zwiększają jej porowatość, co wpływa na lepszą infiltrację i cyrkulację wody oraz zmniejsza ryzyko erozji (20, 69). Mrówki i termyty zwalczają wiele szkodników w uprawach takich roślin, jak: mango, cytrusy, kokosy, orzechy nerkowca i bawełna. Rozsądne stosowanie środków owadobójczych i zmiany w praktykach gospodarowania, takich jak uprawa roli i rotacja upraw, pozwalają zachować korzystne populacje mrówek w różnych agroekosystemach (15, 49).

## **Megafauna**

Megafauna glebowa to grupa większych zwierząt. Powoduje ona przemiany i mieszanie gleby, wpływa na jej strukturę, napowietrzanie i drenaż, a ponadto wspomaga zachowanie równowagi między różnymi elementami środowiska przyrodniczego. Duże zwierzęta roślinożerne wywierają wpływ na siedliska oraz

regulują występowanie innych gatunków poprzez konkurencję, a drapieżniki odgrywają ważną rolę w stabilności ekosystemu, regulując liczebność i zachowania mniejszych roślinożerców (42).

Utrata megafauny może skutkować uproszczeniem ekosystemów z kilkoma międzygatunkowymi interakcjami, krótszymi łańcuchami pokarmowymi oraz mniejszą nadmiarowością funkcjonalną (zdolnością wypełniania tych samych funkcji przez różne taksony) i odpornością. Utrata megafauny może doprowadzić do całkowitej restrukturyzacji społeczności organizmów glebowych, prowadząc do słabszej odporności ekosystemu na warunki środowiskowe (22, 42).

Różnorodność biologiczną gleby można opisać na wiele sposobów, w tym jako:

- różnorodność ekosystemów, która obejmuje różnorodność siedlisk występujących w glebie;
- różnorodność gatunkowa tzn. różnorodność i liczebność różnych typów organizmów zamieszkujących glebę;
- różnorodność genetyczna, czyli różnorodność genów występujących wewnątrz jednego gatunku, zmienność występująca w różnych populacjach tego samego gatunku, lub różnorodność genów w całej zbiorowości organizmów;
- różnorodność fenotypowa oparta na aspektach morfologicznych, biochemicznych lub fizjologicznych organizmów w glebie, zależna od czynników genetycznych i środowiskowych;
- różnorodność funkcjonalna to różnorodność funkcji pełnionych przez organizmy, takich jak np. nityfikacja i rozdrabnianie ściółki (61).

### **Wpływ praktyk rolniczych oraz czynników abiotycznych na bioróżnorodność gleby**

Rolnictwo jest jednym z głównych czynników wpływających na zachwianie równowagi biologicznej i powodującym ograniczenie różnorodności biologicznej. Około 40% powierzchni ziemi na świecie zostało przekształcone w użytkowanie rolnicze (25). Oprócz utraty różnorodności biologicznej związanej z utratą siedlisk, intensyfikacja rolnictwa doprowadziła do silnego spadku różnorodności biologicznej terenów rolniczych (23). Intensywne stosowanie pestycydów i nawozów syntetycznych prowadzi do biologicznego zubożenia środowiska glebowego. Konieczność wyżywienia coraz większej liczby ludzi, w połączeniu ze zmianą diety w kierunku większej ilości białka zwierzęcego, wywiera dodatkową presję na grunty rolne i obszary przyrodnicze (23).

Naukowcy coraz częściej wskazują, że system rolniczy oparty na wykorzystaniu potencjału różnorodności biologicznej stwarza możliwości uzyskania odpornego systemu, w którym zarówno produkcja żywności, jak i przyroda mogą się rozwijać (23).

Praktyki rolnicze mają znaczny wpływ na różnorodność biologiczną w glebie. Główną przyczyną jest ścisły związek między różnorodnością biologiczną gleby,

a takimi cechami gleby, jak zawartość materii organicznej lub odczyn gleby, chociaż związki te nie zostały jeszcze w pełni wyjaśnione. Straty węgla, będącego źródłem energii dla organizmów glebowych, mogą prowadzić do zmniejszenia różnorodności biologicznej. Ponadto powszechne stosowanie nawozów, pestycydów i herbicydów w ramach intensyfikacji rolnictwa jest istotną przyczyną utraty bioróżnorodności gleby. Poza tym do utraty bioróżnorodności gleby prowadzą: uprawa monokulturowa, wynoszenie resztek poźniwnych, stymulowanie erozji gleby oraz jej zagęszczenie nadmiernymi przejazdami.

Nowoczesne rolnictwo powinno sprzyjać ochronie gleby, poprawie jej parametrów oraz zachowaniu jej żyzności. Niezwykle istotne jest ograniczenie strat glebowej materii organicznej oraz poprawa struktury gleby. Ze względu na realizujący się scenariusz klimatyczny kluczowe jest ograniczanie strat wody w glebie oraz poprawa jej zdolności infiltracyjnej i retencyjnej. Praktyki zalecane dla utrzymania potencjału produkcyjnego oraz tzw. zdrowotności gleby, związanej z życiem biologicznym gleby, obejmują przejście z upraw konwencjonalnych na uprawę bezorkową, powszechne wykorzystanie resztek poźniwnych, wprowadzanie roślin okrywowych oraz bardziej precyzyjne stosowanie składników nawozowych (38, 50). Szereg praktyk rolniczych promuje różnorodność składu mikroorganizmów w glebie. Obiecującym działaniem jest stosowanie poplonów jako okrywy roślinnej podlegającej przyoraniu. Technika ta, stosowana zarówno w rolnictwie konwencjonalnym, jak i organicznym, powoduje ponowne wykorzystanie składników odżywczych oraz przyczynia się do rozwoju pożytecznej fauny i flory. Wykazano, że gleby poddane działaniu roślin okrywowych mają większą złożoność i różnorodność w obrębie zbiorowisk drobnoustrojów niż gleby uprawne. Według Tahat i in. (59), rośliny okrywowe w większym stopniu stymulują zdrowotność gleby, w porównaniu z innymi zrównoważonymi technikami, w tym stosowaniem dodatków organicznych i uprawą minimalną. Dotychczasowe dane wskazują również, że rolnictwo ekologiczne poprawia biologiczny stan gleby poprzez zwiększenie liczebności, różnorodności i aktywności mikroorganizmów (59).

Biorąc pod uwagę znaczenie fauny i flory glebowej, jednym z kluczowych wyzwań w badaniach rolniczych jest zrozumienie i przewidywanie wpływu poszczególnych praktyk na ekologię gleby, nie tylko dla oceny wpływu uprawy na organizmy i funkcje gleby, ale także dla projektowania najbardziej korzystnych systemów uprawy oraz pełnego wykorzystania różnorodności biologicznej gleby (24).

Okresy suszy i związane z tym stres wodny, a następnie gwałtowne nawodnienie środowiska glebowego mogą mieć szybkie odbicie w strukturze społeczności mikroorganizmów. Większość organizmów glebowych jest zależna od warunków wilgotnościowych. Zmieniony układ warunków pogodowych może mieć istotny wpływ na liczebność i strukturę społeczności mikroorganizmów, wpływając w ten sposób na ważne procesy ekosystemowe, w których pośredniczą organizmy glebowe. Niektóre z badań wskazują na szkodliwy wpływ suszy na określone populacje mikroorganizmów w glebie i ich biomasę, a także zmniejszenie różnorodności społeczności drobnoustrojów. Ponadto wyniki badań Lindberga i in. (40) wskazują, że susza

powoduje spadek liczebności mikrostawonogów w glebie, ale w niewielkim stopniu wpływa na skład zbiorowiska nicieni. Z kolei badania Sieberta i in. (56) wykazały, że susza miała szkodliwy wpływ na aktywność żerowania bezkręgowców w glebie i uproszczoną strukturę społeczności nicieni, podczas gdy aktywność drobnoustrojów glebowych i biomasa pozostały nienaruszone. Różnice w wynikach badań wskazują na różną odporność gleb na warunki suszy pod względem reakcji mikroorganizmów.

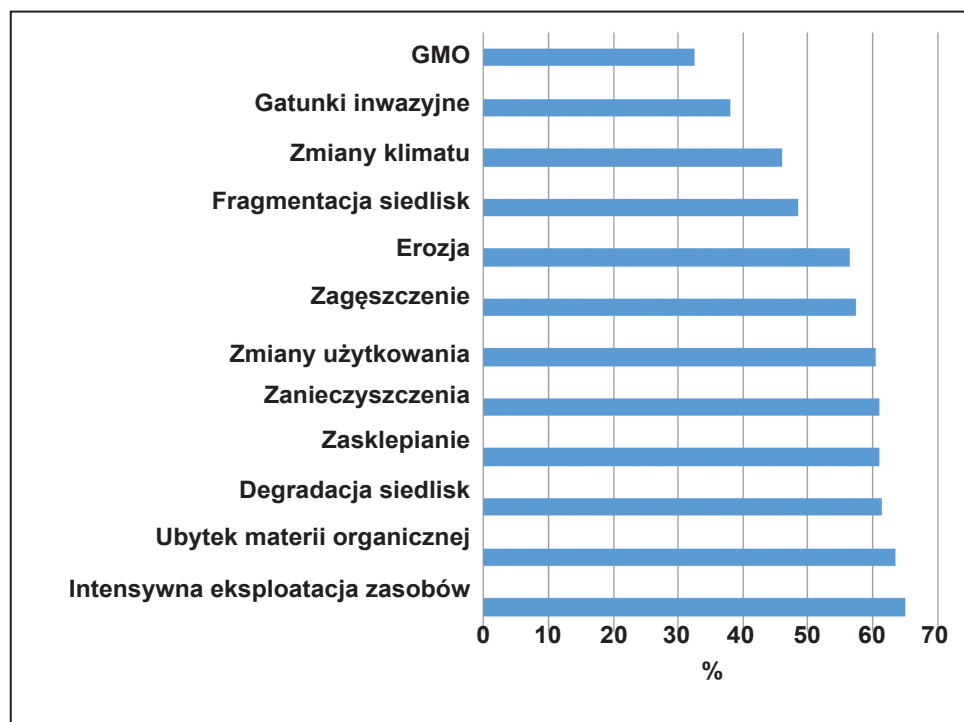
Siebielec i in. (57) ocenili wpływ długości suszy na dynamikę azotu mineralnego, aktywność enzymatyczną i różnorodność bakterii w glebach o różnej teksturze (piasek słabogliniasty i pył gliniasty). Długość suszy silnie modyfikowała aktywność dehydrogenaz, fosfatazy kwaśnej i zasadowej oraz różnorodność funkcyjną i genetyczną bakterii. Gleba gliniasta wykazywała większą odporność na hamowanie aktywności enzymatycznej. Po nawadnianiu, zarówno po miesięcznej, jak i dwumiesięcznej suszy, aktywność enzymów i nityfikacja w dużej mierze powróciły w tej glebie do wyjściowego poziomu.

Badania wykazały, że zastosowane warunki stresowe wpływały na aktywność mikrobiologiczną gleb, a większa ilość łu koloidalnego i węgla w glebie (pochodzącego z kompostu) sprzyjały odbudowie aktywności po okresach suszy. Podobnie jak w przypadku enzymów glebowych poziom odbudowy nityfikacji był większy w glebie gliniastej i po dodaniu kompostu. Dodatek kompostu do gleby ponadto znacznie złagodził zahamowanie aktywności mikroorganizmów w okresach suszy. Susza spowodowała znaczne zmiany w różnorodności funkcjonalnej zbiorowisk bakteryjnych oraz zmiany we względnej liczebności poszczególnych typów bakterii, na przykład przyrost udziału *Acidobacteria* lub spadek *Verrucomicrobia*. Badania wyraźnie dowodzą większej podatności zbiorowisk drobnoustrojów na suszę w glebach piaszczystych oraz istotnej roli egzogennej materii organicznej w ochronie aktywności mikroorganizmów w okresach suszy.

Według Gleesona i in. (31), w warunkach nawodnienia gleby, po długim okresie suszy ma miejsce liza komórek mikroorganizmów połączona z uwolnieniem z nich wewnątrzkomórkowych enzymów. Ponadto w takich warunkach dochodzi do wzrostu szybkości mineralizacji zarówno węgla, jak i azotu. Z drugiej strony niektóre drobnoustroje, zwłaszcza formy przetrwalnikowe, mogą w suchych środowiskach przetrwać przez wiele lat w stanie anabiozy (39). Gianfreda i Bollag (30) wykazali z kolei, iż spadek zawartości wody w glebie może również prowadzić do powstania hipertonicznego ciśnienia osmotycznego, powodując w konsekwencji obniżenie aktywności mikrobiologicznej bądź wysuszenie komórek bakteryjnych. Należy również zwrócić uwagę na interakcje pomiędzy odpornością roślin na warunki suszowe a charakterystyką mikrobiologiczną gleb w warunkach suszy i aktywnością pewnych grup mikroorganizmów. Mikroorganizmy mogą wspomagać odporność roślin na suszę poprzez np. produkcję polisacharydów poprawiających strukturę gleby, syntezę deaminaz, produkcję kwasu indoliloctowego i proliny, poprawę cyrkulacji wody przez grzyby (44).

### Interakcja z innymi procesami degradacji gleb

Spadek różnorodności biologicznej gleby jest zwykle związany z innym typami degradacji gleby, takimi jak erozja, zubożenie materii organicznej, zasolenie, zanieczyszczenie i zagęszczenie. Wzajemne interakcje pomiędzy formami degradacji gleb wciąż nie są wystarczająco poznane i zwaloryzowane. Dlatego w dotychczasowej literaturze wzajemne relacje między procesami degradacji gleb często oceniano metodą ekspercką (rys. 3) (33).



Rys. 3. Potencjalne zagrożenia dla bioróżnorodności gleb związane z innymi procesami degradacji, na podstawie opinii ekspertów Grupy Roboczej ds. Bioróżnorodności Gleb Komisji Europejskiej – wyrażone jako procent maksymalnego możliwego wyniku, modyfikacja własna

Źródło: Jeffery i Gardi, 2010 (33)

Przykładowo można założyć, że związek pomiędzy erozją gleby a jej różnorodnością biologiczną jest dość ścisły. Intensywna utrata gleby w procesie erozji z pewnością ma wpływ na organizmy zamieszkujące ten ekosystem. Z drugiej strony różnorodność gatunków żyjących w glebie wpływa zarówno na stabilność agregatów, jak i na infiltrację wody poprzez ich ruch i bytowanie, przeciwdziałając zjawiskom erozji (67). Korzyści z poprawy struktury gleby obejmują bowiem zmniejszone ryzyko erozji.

Niemniej do tej pory powiązania te były słabo analizowane, głównie ze względu na złożony charakter relacji. Niektóre organizmy, na przykład ssaki żyjące w glebie, mogą nasilać erozję poprzez destabilizację struktury gleby, z kolei grzyby zmniejszają utratę gleby, ponieważ wzmacniają wiązania między cząstkami gleby poprzez gęstą sieć grzybni (43).

Spadek bioróżnorodności gleb może negatywnie wpływać na rozkład zanieczyszczeń w glebie. Zmiany klimatu lub intensywne produkcje rolnicze powodują ograniczenie różnorodności biologicznej, a w konsekwencji ograniczenie nadmiarowości funkcjonalnej, co oznacza na przykład zmniejszony rozkład trwałych zanieczyszczeń gleb (61).

### **Inicjatywy dotyczące bioróżnorodności gleb i bazy danych o bioróżnorodności gleb**

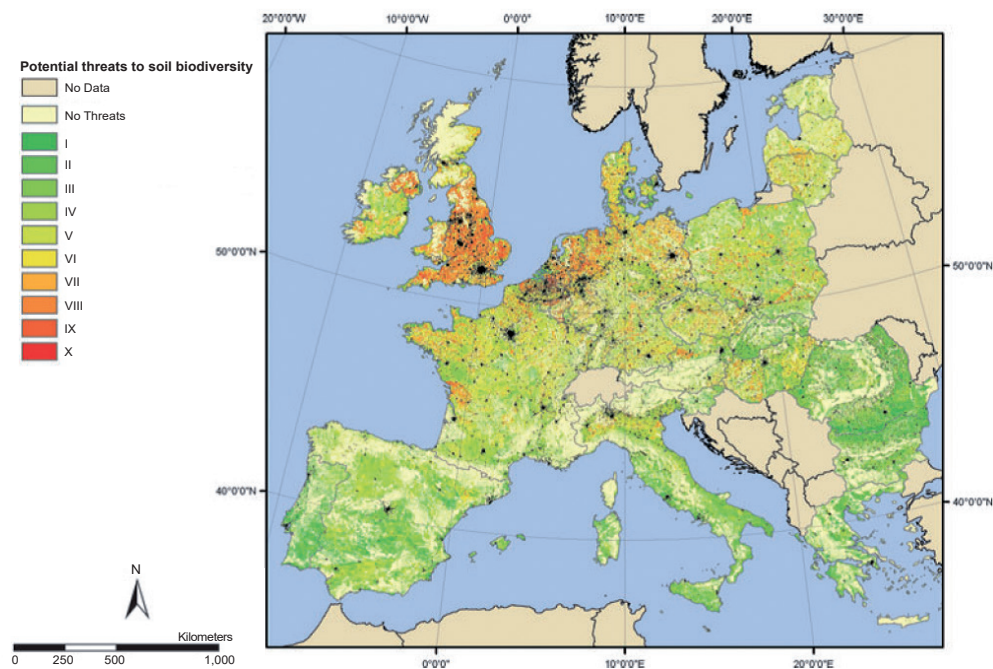
Globalna inicjatywa dla bioróżnorodności gleb (ang. *Global Soil Biodiversity Initiative* – GSBI) została utworzona w celu nawiązania współpracy naukowców, mając na celu informowanie opinii publicznej, propagowanie tych informacji w polityce środowiskowej oraz ogólnie tworzenie platformy dla obecnego i przyszłego zrównowazenia gleb. Działalność GSBI polega na:

- integracji wiedzy na temat różnorodności biologicznej gleby i powiązanych usług ekosystemowych;
- promocji przykładów możliwych rozwiązań dla utrzymania i poprawy bioróżnorodności gleby;
- wymianie wiedzy pomiędzy różnymi interesariuszami w celu ustalenia programów badawczych i instrumentów politycznych;
- forum dyskusji dla grup roboczych IPBES (ang. *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*) zajmujących się różnorodnością biologiczną gleby i usługami ekosystemowymi;
- sponsorowaniu warsztatów poświęconych bioróżnorodności;
- interakcji z Globalnym Partnerstwem dla Gleb;
- organizacji grup roboczych w celu integracji wyników badań między dyscyplinami.

Kluczowe dla oceny zmian bioróżnorodności gleby oraz wpływu różnych scenariuszy rozwoju lub zmian klimatu na bioróżnorodność są bazy danych. Niestety z uwagi na różnorodność cech opisujących bioróżnorodność gleby oraz dynamiczny charakter wielu z nich brak jest wiarygodnych baz danych przestrzennych charakteryzujących bioróżnorodność gleb. Elementy oceny bioróżnorodności nie zagościły jak dotychczas na stałe w programach monitoringu jakości i funkcji gleb. Ponadto do chwili obecnej brak jest pomiędzy ekspertami ustaleń co do optymalnego zestawu parametrów, które opisywałyby stan i kierunki zmian bioróżnorodności gleb, co wiąże się z trudnościami w wycenieniu zysków i strat związanych ze spadkiem wartości danego parametru.



Jedną z niewielu prób przestrzennego przedstawienia zagrożeń dla bioróżnorodności gleb na poziomie Europy podjęli Gardi i in. (27) (rys. 4). Ich mapa jest wynikiem połączenia analiz eksperckich (33) oraz dostępnych baz danych przestrzennych, charakteryzujących w możliwie największym stopniu procesy degradacji, wymienione na rysunku 3. Dla przykładu, w celu przestrzennego przedstawienia intensywności eksploatacji zasobów wykorzystano dane o średnim wykorzystaniu azotu, a dla scharakteryzowania erozji gleb wykorzystano dane opracowane na podstawie modeli PESERA (ang. *Pan European Soil Erosion Risk Assessment*) oraz modelu RUSLE (ang. *Revised Universal Soil Loss Equation*).



Rys. 4. Mapa syntetycznego wskaźnika presji na bioróżnorodność gleb w Europie  
 Źródło: Gardi i in., 2013 (27)

## Literatura

1. Allison S.D., Martiny J.B.H.: Resistance, resilience, and redundancy in microbial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, **105**: 11512-11519.
2. Alvarez T., Frampton G., Goulson D.: Epigeic Collembola in winter wheat under organic, integrated and conventional farm management regimes. *Agric. Ecos. Environ.* 2001, **83**: 95-110.
3. Bach E.M.; Ramirez K.S.; Fraser T.D. Wall D.H.: Soil Biodiversity Integrates Solutions for a Sustainable Future. *Sustainability*, 2020, **12**: 2662.

4. Bahram M., Hildebrand F., Forslund S.K., Anderson J.L., Soudzilovskaia N.A., Bodegom P.M., Bengtsson-Palme J., Anslan S., Coelho L.P., Harend H., Huerta-Cepas J., Medema M.H., Maltz M.R., Mundra S., Olsson P.A., Pent M., Pöhlme S., Sunagawa S., Ryberg M., Tedersoo L., Bork P.: Structure and function of the global topsoil microbiome. *Nature*, 2018, **560**: 233-237.
5. Bardgett R.D., Van der Putten W.H.: Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, 2014, **515**: 505-511.
6. Barrios E.: Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics*, 2007, **64**: 269-285.
7. Bartkowski B., Bartke S., Helming K., Paul C., Techen A.K., Hansjürgens B.: Potential of the economic valuation of soil-based ecosystem services to inform sustainable soil management and policy. *PeerJ*, 2020, **8**: e8749.
8. Bhattacharyya P.N., Jha D.K.: Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR): Emergence in Agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2012, **28**: 1327-1350.
9. Bhatti A.A., Haq S., Bhat R.A.: Actinomycetes benefaction role in soil and plant health. *Microbial Pathogenesis*, 2017, **111**: 458-467.
10. Boczek J., Błaszczak C.: Roztocze (Acari) – znaczenie w życiu i gospodarce człowieka. Wyd. SGGW, Warszawa, 2005, ss. 284.
11. Boczek J., Lewandowski M.: Nauka o szkodnikach roślin uprawnych. Wyd. SGGW, Warszawa, 2016, ss. 411
12. Buscot F., Varna A.: Microorganisms in Soil: Roles in Genesis and Functions. *Soil Biology*. Springer, Berlin, 2005, ss. 425.
13. Brussaard L.: Ecosystem Services Provided by the Soil Biota. W: *Soil Ecology and Ecosystem Services Soil Ecology and Ecosystem Services*, Wall D.H. (ed). 2013, p. 45-58.
14. Chen X., Liu M., Hu F., Mao X., Li H.: Contributions of soil micro-fauna (protozoa and nematodes) to rhizosphere ecological functions. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, **27(8)**: 3132-3143.
15. Choate B., Drummond F.: Ants as biological control agents in agricultural cropping systems. *Terrestrial Arthropod Reviews*, 2011, **4**: 157-180.
16. Costanza R., Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., van de Belt M.: The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, **387**: 253-60.
17. Cullman S.W., Young-Mathews A., Hollander A.D., Ferris H., Sánchez-Moreno S., O'Geen A.T., Jackson L.E.: Biodiversity is associated with indicators of soil ecosystem functions over a landscape gradient of agricultural intensification. *Landscape Ecology*, 2010, **25**: 1333-1348.
18. Decaëns T., Jiménez J.J., Gioia C., Measey G.J., Lavelle P.: The values of soil animals for conservation biology. *Eur. J. Soil Biol.*, 2006, **42**: 23-38.
19. Delgado-Baquerizo M., Reich P.B., Trivedi C., Eldridge D.J., Abades S., Alfaro F.D., Bastida F., Berhe A.A., Cutler N.A., Gallardo A., Garcia-Velazquez L., Hart S.C., Hayes P.E., He J.Z., Hseu Z.Y., Hu H.W., Kirchmair M., Neuhauser S., Perez C.A., Reed S.C., Santos F., Sullivan B.W., Trivedi P., Wang J.T., Weber-Grullon L., Williams M.A., Singh B.K.: Multiple elements of soil biodiversity drive ecosystem functions across biomes. *Nat. Ecol. Evol.*, 2020, **4**: 210-220
20. Diamé L., Rey J.R., Vayssières J.F., Grechi I., Chailleux A., Diarra K.: Major functional elements in fruit agro-ecosystems and biological control agents. *Sustainability*, 2017, **10**: 23.
21. Dindal D.L. *Soil biology guide*. Wiley-Interscience, 1990, pp. 1376
22. Elmhagen B., Ludwig G., Rushton S.P., Helle P., Lindén H.: Top predators, mesopredators and their prey: Interference ecosystems along bioclimatic productivity gradients. *Journal of Animal Ecology*, 2010, **79(4)**: 785-794.
23. Erisman J.W., van Eekeren N., de Wit J., Koopmans C., Cuijpers W., Oerlemans N., Koks B.J.: Agriculture and biodiversity: a better balance benefits both. *Agriculture and Food*, 2016, **1(2)**: 157-174.
24. Estrade J.R., Anger C., Bertrand M., Richard G.: Tillage and soil ecology: Partners for sustainable agriculture. *Soil and Tillage Research*, 2010, **111(1)**: 33-40
25. Fahrig L., Baudry J., Brotons L., Burel F.: Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters*, 2011, **14**: 101-112.

26. Franco A.L.C., Sobral B.W., Silva A.L.C., Wall D.H.: Amazonian deforestation and soil biodiversity. *Conserv. Biol.*, 2019, **33**: 590-600.
27. Gardi C., Jeffery S., Saltelli A.: An estimate of potential threats levels to soil biodiversity in EU. *Global Change Biology*, 2013, doi.org/10.1111/gcb.12159.
28. Geisen S.: The bacterial-fungal energy channel concept challenged by enormous functional versatility of soil protists. *Soil Biol. Biochem.*, 2016, **102**: 22-25.
29. Geisen S., Snoek L.B., Hooven F.C., Duyts H., Kostenko O., Bloem J., Martens H., Quist C.W., Helder J.A., Van der Putten W.H.: Integrating quantitative morphological and qualitative molecular methods to analyze soil nematode community responses to plant range expansion. *Methods in Ecology and Evolution*, 2018, **9**: 1366-1378.
30. Gianfreda L., Bollag J.M.: Enzyme activity in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, **8**: 123-192.
31. Gleeson D.B., Herrmann A.M., Livesley S.J., Murphy D.V.: Influence of water potential on nitrification and structure of nitrifying bacterial communities in semiarid soils. *Appl. Soil Ecol.*, 2008, **40**: 189-194.
32. Graham P.H., Vance C.P.: Legumes: importance and constraints to greater use. *Pl. Physiol.*, 2003, **131**: 872-877.
33. Jeffery S., Gardi C.: Soil biodiversity under threat—A review. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*, 2010, **74**: 7-12.
34. Jeffery S., Gardi C., Jones A.: European Atlas of Soil Biodiversity. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN: 978-92-79-15806-3, 2010.
35. Jeffrey L.S.H., Sahilah A.M., Son R., Tosiah S.: Isolation and screening of actinomycetes from Malaysian soil for their enzymatic and antimicrobial activities. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science*, 2007, **35**: 159-164.
36. Kibblewhite M.G., Ritz K., Swift M.J.: Soil health in agricultural systems. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.*, 2008, **363(1492)**: 685-701.
37. König S., Wubet T., Dormann C.F., Hempel S., Renker C., Buscot F.: Taqman real-time PCR assays to assess arbuscular mycorrhizal responses to field manipulation of grassland biodiversity: effects of soil characteristics, plant species richness, and functional traits. *Applied and Environmental Microbiology*, 2010, **76**: 3765-3775.
38. Lal R.: Challenges and opportunities in soil organic matter research. *European Journal of Soil Science*, 2009, **60(2)**: 158-169.
39. Libudzisz Z., Kowal K., Żakowska Z.: *Mikrobiologia techniczna. Mikroorganizmy i środowiska ich występowania*. Tom 1. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa, 2007, ss. 356.
40. Lindberg N., Engtsson J.B., Persson T.: Effects of experimental irrigation and drought on the composition and diversity of soil fauna in a coniferous stand. *Journal of Applied Ecology*, 2002, **39**: 924-936.
41. Mahmud K., Makaju S., Ibrahim R., Missaoui A.: Current Progress in Nitrogen Fixing Plants and Microbiome Research. *Plants*, 2020, **9**: 97.
42. Malhi Y., Doughty C.E., Galetti M., Smith F.A., Svenning J.C., Terborgh J.W.: Megafauna and ecosystem function from the Pleistocene to the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2016, **113(4)**: 838-846.
43. Mardhiah U., Caruso T., Gurnell A., Rillig M.C.: Arbuscular mycorrhizal fungal hyphae reduce soil erosion by surface water flow in a greenhouse experiment. *Applied Soil Ecology*, 2016, **99**: 137-140.
44. Milosević N.A., Marinković J.B., Tintor B.B.: Mitigating abiotic stress in crop plants by microorganisms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012, **123**: 17-26.
45. Mueller R.C., Paula F.S., Mirza B.S., Rodrigues J.L.M., Nüsslein K., Bohannon B.J.M.: Links between plant and fungal communities across a deforestation chronosequence in the Amazon rainforest. *ISME J.*, 2014, **8**: 1548-1550.
46. Nielsen U.N., Wall D.H., Six J.: Soil biodiversity and the environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 2015, **40**: 63-90.
47. Nilsson M., Griggs D., Visbeck M.: Policy: Map the interactions between Sustainable Development Goals. *Nature*, 2016, **534**: 320-322.

48. Orgiazzi A., Panagos P., Yigini Y., Dunbar M.B., Gardi C., Montanarella L., Ballabio C.: A knowledge-based approach to estimating the magnitude and spatial patterns of potential threats to soil biodiversity. *Science of The Total Environment*, 2016, **545–546**: 11-20.
49. Orhue E.R., Uzu O.F., Osaigbovo U.A.: Influence of activities of termites on some physical and chemical properties of soils under different land use patterns: A review. *International Journal of Soil Science*, 2007, **2**: 1-14.
50. Palm C., Blanco-Canqui H., DeClerck F., Gatere L., Grace P.: Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 2013, **187**: 87-105.
51. Perry R.N., Moens M.: Introduction to plant-parasitic nematodes; modes of parasitism. W: *Genomics and Molecular Genetics of Plant – Nematode Interactions* (J.T. Jones, L. Gheysen and C. Fenoll, eds), Heidelberg, Springer, 2011, p. 3-20.
52. Purvis A., Hector A.: Getting the measure of biodiversity. *Nature*, 2000, **405**: 212-219.
53. Robinson D.A., Hockley N., Dominati E., Lebron I., Scow K.M., Reynolds B., Emmett B.A., Keith A.M., de Jonge L.W., Schjonning P., Moldrup P., Jones S.B., Tuller M.: Natural capital, ecosystem services, and soil change: Why soil science must embrace an ecosystems approach. *Vadose Zone Journal*, 2012, **11**: 6.
54. Schulte R.P.O., Creamer R.E., Donnellan T., Farrelly N., Fealy R., O'Donoghue C., O'hUallachain D.: Functional land management: a framework for managing soil-based ecosystem services for the sustainable intensification of agriculture. *Environmental Science and Policy*, 2014, **38**: 45-58.
55. Sharma S., Kumar V., Tripathi R.B.: Isolation of Phosphate Solubilizing Microorganism (PSMs) from soil. *Journal of Microbiology and Biotechnology Research*, 2011, **1(2)**: 90-95.
56. Siebert J., Sünemann M., Auge H., Cesarz S., Guerrero-Ramírez N.R., Eisenhauer N.: The effects of drought and nutrient addition on soil organisms vary across taxonomic groups, but are constant across seasons. *Scientific Reports*, 2019, **9**: 639.
57. Siebielec S., Siebielec G., Klimkiewicz-Pawlas A., Gałazka A., Grządziel J., Stuczyński T.: Impact of a water stress on microbial community and activity in sandy and loamy soils. *Agronomy*, 2020, **10**: 1429.
58. Soffo A., Mininni A.N., Ricciuti P.: Soil Macrofauna: A key factor for increasing soil fertility and promoting sustainable soil use in fruit orchard agrosystems. *Agronomy*, 2020, **10(4)**: 456.
59. Thahar M.M., Alananbeh K.M., Othman Y.A., Leskovar D.I.: Soil health and sustainable agriculture. *Sustainability*, 2020, **12**: 4859.
60. Thiele-Bruhn S., Bloem J., de Vries F.T., Kalbitz K., Wagg C.: Linking soil biodiversity and agricultural soil management. *Curr. Opin. Environ. Sustain*, 2012, **4**: 523-528.
61. Tibbett M.: Decline in soil biodiversity. W: Stolte J. et al. *Soil threats in Europe. Status, methods, drivers and effects on ecosystem services*. JRC Technical Reports. European Union, 2016, s. 146-154
62. Tibbett M., Fraser T.D., Duddigan S.: Identifying potential threats to soil biodiversity. *PeerJ*, 2020, **8**: e9271.
63. Tilak K.V.B.R., Ranganayaki N., Pal K.K., De R., Saxena A.K., Nautiyal C.S.: Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. *Current Science*, 2005, **89(1)**: 136-150
64. Tilman D., Reich P., Isbell F.: Biodiversity impacts ecosystem productivity as much as resources, disturbance or herbivory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012, **109**: 10394-10397.
65. Wardowski J.: Wpływ uproszczeń w uprawie roli pod pszenicę ozimą na zgrupowania stawonogów epigeicznych i glebowych. *Monografie CVII, Wydawnictwo UP Wrocław*, 2010, ss. 141.
66. Vogel H.J., Bartke S., Daedlow K., Helming K., Kögel-Knabner I., Lang B., Rabot E., Russell D., Stöbel B., Weller U., Wiesmeier M., Wollschläger U.: A systemic approach for modeling soil functions. *Soil*, 2018, **4**: 83-92.
67. Wall D.H., Nielsen U.N., Six J.: Soil biodiversity and human health. *Nature* 2015, **528**: 69-76.
68. Wang C.T., Long R.J., Wang Q.J., Ding L.M., Wang M.P.: Effects of altitude on plant-species diversity and productivity in an alpine meadow, Qinghai-Tibetan plateau. *Aust. J. Bot.*, 2007, **55**: 110-117.

69. Warren R.J., Bradford M.A.: Ant colonization and coarse woody debris decomposition in temperate forests. *Insectes Sociaux*, 2011, **59**: 215-221.
70. Y uvaraj M., Ramasamy M.: Role of Fungi in Agriculture. Open access peer-reviewed chapter, 2020, doi:10.5772/intechopen.89718
- 

Adres do korespondencji:

*dr hab. Grzegorz Siebielec<sup>1</sup>, mgr inż. Sylwia Siebielec<sup>2</sup>*  
*<sup>1</sup>Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów,*  
*<sup>2</sup>Zakład Mikrobiologii Rolniczej,*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy*  
*tel. 81 47 86 910*  
*email: gs@iung.pulawy.pl; ssiebielec@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR	ORCID
Grzegorz Siebielec	0000-0001-8089-6123
Sylwia Siebielec	0000-0001-9516-1939

**STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB****ZESZYT 64(18): 109-127****2020**

**Stanisław Krasowicz, Mariusz Matyka, Małgorzata Stachyra,  
Katarzyna Bartuzi**

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

**EFEKTY REALIZACJI PROGRAMÓW WIELOLETNICH IUNG-PIB  
W LATACH 2005–2020**

**Słowa kluczowe:** nauka, programy wieloletnie, doradztwo, praktyka rolnicza, realizacja, efekty, mierniki

---

### **Wstęp**

Programy wieloletnie są ustanawiane przez Radę Ministrów w celu wsparcia realizacji zadań o znaczeniu strategicznym dla państwa nadzorowanych przez Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Do takich zadań należy między innymi racjonalne wykorzystanie gruntów, zabezpieczenie potrzeb surowcowych gospodarki i odpowiedniego poziomu konsumpcji społeczeństwa, a także ochrona środowiska przyrodniczego oraz usprawnienie transferu wyników badań naukowych do doradztwa i praktyki rolniczej. Zadania te są jednym z wyznaczników działalności instytutów badawczych podległych MRiRW.

W sprawozdaniach z realizacji programów wieloletnich IUNG-PIB (5) w Puławach podkreślano ich znaczenie jako płaszczyzn współpracy, efektywnej formy transferu wiedzy oraz wsparcia decyzji na różnych poziomach zarządzania. Wskazywano również, że podstawą realizacji programów wieloletnich były wyniki dotychczasowych badań, istniejące i stale wzbogacane zbiory informacji z różnego rodzaju monitoringów oraz dane statystyczne GUS.

Efekty realizacji programów wieloletnich były dotychczas oceniane w odniesieniu do kolejnych programów i lat. Brakowało oceny efektów realizacji programów wieloletnich w dłuższym okresie. Wydaje się, że okres 2005–2020 umożliwi szerszą, kompleksową ocenę efektów realizacji programów wieloletnich IUNG-PIB. Programy te stanowiły w całym tym okresie znaczące źródło finansowania działalności IUNG-

---

\* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.8 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

PIB i wywierały wpływ na kierunki oraz formy aktywności pracowników naukowych Instytutu. Jednocześnie były one formami promocji działalności resortowych instytutów badawczych, w tym IUNG-PIB.

### **Material i metodyka badań**

Badania miały charakter kameralny. Analizę przeprowadzono w ujęciu dynamicznym, uwzględniając wskaźniki liczbowe mierników osiągnięte w ramach poszczególnych programów wieloletnich w latach 2005–2020. Uwzględniono w niej 3 kolejno realizowane w IUNG-PIB programy wieloletnie oraz sumaryczne efekty dla całego objętego analizą okresu. Źródła informacji stanowiły również: uchwały Rady Ministrów w sprawie ustanowienia programów wieloletnich realizowanych przez IUNG-PIB (uchwała nr 79/2005 z dnia 29 marca 2005 r., uchwała nr 175/2011 z dnia 6 września 2011 r., uchwała nr 223/2015 z dnia 15 grudnia 2015 r., uchwała nr 132/2019 z dnia 28 października 2019 r.), sprawozdania z realizacji programów wieloletnich w latach 2005–2020 oraz z sprawozdania z działalności badawczo-rozwojowej IUNG-PIB w latach 2005–2020.

### **Wyniki badań**

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w 2005 roku uzyskał status Państwowego Instytutu Badawczego i rozpoczął realizację programów wieloletnich. W obszarze działalności IUNG-PIB w ramach programów wieloletnich mieściło się rozwiązywanie problemów w zakresie rozwoju zrównoważonego produkcji rolniczej i kształtowania środowiska rolniczego oraz wspieranie decyzji władz administracyjnych i samorządowych w tym zakresie. Dużym wyzwaniem stawianym przed nauką, a jednocześnie jednym z celów realizowanych w Instytucie programów wieloletnich była również poprawa innowacyjności i konkurencyjności polskiego rolnictwa poprzez podejmowanie nowych wyzwań badawczych w zakresie oceny skutków produkcyjnych, ekonomicznych i środowiskowych Wspólnej Polityki Rolnej (WPR) i Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW), adaptacji rolnictwa do zmian klimatu, wspierania rolnictwa niskoemisyjnego oraz wdrażania koncepcji biogospodarki i gospodarki obiegu zamkniętego.

### **Ogólna charakterystyka programów wieloletnich IUNG-PIB**

Każdy z programów wieloletnich miał wyraźnie określony zakres merytoryczny, jednak kolejne programy nawiązywały do dorobku wcześniej realizowanych, zapewniając kontynuację podjętych działań.

Pierwszy program wieloletni pn. „*Kształtowanie środowiska rolniczego Polski oraz zrównoważony rozwój produkcji rolniczej*” był ustanowiony na lata 2005–2010.

Jego celem głównym było wspieranie decyzji w zakresie kształtowania środowiska rolniczego oraz zrównoważonego rozwoju produkcji roślinnej (głównych ziemiopłodów), bezpiecznej dla zdrowia ludzi i zwierząt. Program składał się z 18 zadań podzielonych na 2 bloki tematyczne.

### **I. Zadania z zakresu kształtowania środowiska rolniczego zgodnie z koncepcją rozwoju zrównoważonego (ekorozwoju)**

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).

### **II. Zadania dotyczące opracowania i wdrażania systemów oraz technologii pozyskiwania surowców roślinnych o pożądanej jakości, bezpiecznych dla zdrowia ludzi i zwierząt**

1. Analiza i ocena regionalnego zróżnicowania produkcji roślinnej w Polsce oraz prognozowanie zmian.
2. Ocena oddziaływania różnych systemów produkcji rolniczej na środowisko przyrodnicze oraz możliwości ich rozwoju w poszczególnych regionach Polski.
3. Doskonalenie zasad organizacji gospodarstw oraz agrotechniki w rolnictwie ekologicznym.
4. Opracowanie i wdrażanie bezpiecznych dla środowiska metod uprawy roli, nawożenia i regulacji zachwaszczenia.
5. Opracowanie i wdrażanie efektywnych ekonomicznie i bezpiecznych dla środowiska oraz zdrowia ludzi i zwierząt technologii pozyskiwania surowców roślinnych o pożądanych parametrach jakościowych.



6. Ocena możliwości wykorzystania i standaryzacji ekstraktów roślinnych i preparatów naturalnych zastępujących paszowe dodatki antybakteryjne (GPA).
7. Tworzenie postępu biologicznego w hodowli chmielu i tytoniu oraz jego wykorzystanie w systemie zrównoważonego rolnictwa.
8. Ocena możliwości produkcji, opracowanie i wdrażanie technologii uprawy roślin na cele energetyczne.
9. Doskonalenie systemów doradztwa w zakresie zrównoważonej produkcji roślinnej.

Kolejny program wieloletni pn. „*Wspieranie działań w zakresie kształtowania środowiska rolniczego i zrównoważonego rozwoju produkcji rolniczej w Polsce*” był realizowany w latach 2011–2015. Celem głównym tego programu było wspieranie działań w zakresie kształtowania środowiska rolniczego i zrównoważonego rozwoju produkcji rolniczej w Polsce z uwzględnieniem zasad WPR. Program składał się z 18 zadań podzielonych na 4 priorytety.

#### **I. Dostosowywanie rolnictwa do zmian klimatycznych w zakresie ochrony gleb, gospodarki wodnej i pokrycia zapotrzebowania na bioenergię**

1. System informacji o wpływie zmian klimatycznych na rolnictwo oraz o metodach adaptacji.
2. Ocena rolniczych i pozarolniczych zagrożeń dla środowiska glebowego oraz opracowanie sposobów usuwania lub ograniczania skutków degradacji gleb na obszarach wiejskich.
3. Monitorowanie wpływu rolnictwa na zanieczyszczanie wód powierzchniowych i podziemnych oraz Morza Bałtyckiego.
4. Ocena możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii pochodzenia rolniczego oraz ich wpływu na środowisko i bezpieczeństwo żywnościowe Polski.
5. Ocena możliwości ograniczania emisji dwutlenku węgla z rolnictwa przez jego sekwestrację w glebach.

#### **II. Analiza wpływu WPR i innych czynników kształtujących wykorzystanie przestrzeni rolniczej na środowisko**

1. Analiza skutków środowiskowych WPR na podstawie zintegrowanego systemu informacji o środowisku rolniczym.
2. Analiza możliwości wielofunkcyjnego rozwoju obszarów problemowych rolnictwa, z uwzględnieniem warunków środowiskowych.
3. Monitorowanie wskaźników żyzności gleb z uwzględnieniem przemian strukturalnych i organizacyjnych w rolnictwie.
4. Ocena możliwości zrównoważonego rozwoju rolnictwa na różnych poziomach zarządzania.

5. Analiza i ocena skutków zmian w produkcji rolniczej w Polsce w ujęciu dynamicznym i regionalnym.
6. Ocena wpływu technik i technologii stosowanych w produkcji roślinnej na środowisko przyrodnicze oraz jakość ziemiopłodów.

### **III. Systemy wspierania działań w zakresie zrównoważonego rozwoju, bezpieczeństwa i jakości żywności**

1. System wspierania działań w zakresie gospodarki nawozowej w Polsce.
2. Ocena kierunków i systemów produkcji rolniczej oraz możliwości ich wdrażania w regionach i gospodarstwach.
3. Ocena efektywności stosowania różnych elementów technologii w integrowanej produkcji podstawowych ziemiopłodów.
4. Analiza i ocena możliwości kształtowania jakości surowców roślinnych z uwzględnieniem różnych kierunków użytkowania i uwarunkowań regionalnych.
5. Ocena wpływu postępu biologicznego i agrotechnicznego na uprawę chmielu i tytoniu w Polsce.

### **IV. Doskonalenie metod upowszechniania wiedzy przez doradztwo rolnicze**

1. Doskonalenie informatycznych systemów doradztwa rolniczego wspierających zrównoważony rozwój rolnictwa i obszarów wiejskich.
2. Merytoryczne wspieranie doradztwa rolniczego oraz poprawa efektywności przekazywania wyników badań do zastosowania w praktyce.

Trzeci program wieloletni pn. „*Wspieranie działań w zakresie ochrony i racjonalnego wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce oraz kształtowania jakości surowców roślinnych na lata 2016–2020*”. Celem głównym tego programu było wspieranie działań w zakresie ochrony i racjonalnego wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej, ograniczanie niekorzystnego wpływu rolnictwa na środowisko przyrodnicze oraz kształtowanie jakości surowców roślinnych z uwzględnieniem zasad WPR i zmian klimatu. Program składał się z 16 zadań realizowanych w 2 obszarach:

#### **I. Wykorzystanie i ochrona rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski z uwzględnieniem zasad WPR**

1. Ocena zmian w gospodarowaniu ziemią z uwzględnieniem uwarunkowań przyrodniczych, organizacyjno-ekonomicznych i procesów urbanizacyjnych oraz wskazanie działań prowadzących do racjonalnego wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej.
2. Ocena gleb użytkowanych rolniczo z uwzględnieniem prawidłowego funkcjonowania ekosystemów glebowych oraz wskazanie działań zapobiegających procesom degradacyjnym.

3. Monitorowanie różnych parametrów środowiska glebowego dla właściwej oceny WPR.
4. Ocena i kształtowanie bioróżnorodności środowiska glebowego oraz aktywności mikrobiologicznej gleb z uwzględnieniem warunków siedliskowych i systemów gospodarowania.
5. Ocena możliwości i kierunków wykorzystania środowiska rolniczego Polski z uwzględnieniem koncepcji wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich, specyfiki obszarów problemowych oraz kierunków rozwoju infrastruktury.
6. Ocena wpływu rolnictwa na jakość wód oraz wspieranie działań mających na celu ochronę zasobów wodnych w Polsce.
7. Opracowanie i doskonalenie metod oceny oraz prognozowania (modelowania) skutków środowiskowych i produkcyjno-ekonomicznych WPR i zmian klimatu.
8. Analiza i ocena wpływu działań WPR na środowisko oraz strukturę, poziom, koncentrację i konkurencyjność produkcji rolniczej, z uwzględnieniem zróżnicowania regionalnego rolnictwa i specyfiki różnych grup gospodarstw rolnych.
9. Opracowanie i doskonalenie metod oraz instrumentów przydatnych do kształtowania wpływu WPR na środowisko przyrodnicze.

## **II. Wspieranie postępu technologicznego i innowacyjności produkcji roślinnej w Polsce**

1. Analiza i ocena regionalnego zróżnicowania możliwości rozwoju różnych systemów i kierunków produkcji rolniczej oraz prognozowanie ich wpływu na środowisko z uwzględnieniem zasad WPR.
2. Wspieranie gospodarki nawozowej w Polsce i ocena jej skutków środowiskowych oraz doskonalenie systemów doradztwa nawozowego z uwzględnieniem stosowania produktów pofermentacyjnych z biogazowni.
3. Ocena i wspieranie procesów wdrażania integrowanej produkcji i postępu technologicznego w produkcji roślinnej (zboża, rośliny pastewne i rośliny energetyczne).
4. Ocena możliwości kształtowania poziomu i jakości produkcji roślinnej z uwzględnieniem przewidywanych zmian klimatu.
5. Wykorzystanie wyników badań naukowych i prac hodowlanych do doskonalenia odmian oraz technologii produkcji chmielu i tytoniu zgodnie z zasadami integrowanej ochrony roślin.
6. Analiza możliwości redukcji emisji gazów cieplarnianych, amoniaku oraz azotanów z rolnictwa w perspektywie do 2030 oraz do 2050.
7. Analiza i doskonalenie metod przekazywania wyników badań naukowych do doradztwa i praktyki rolniczej oraz wspieranie działalności różnych typów gospodarstw i przedsiębiorstw rolniczych.

Struktura wyżej wymienionych programów wieloletnich była opracowywana i uzgadniana z departamentami merytorycznymi Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Każdy z trzech realizowanych w IUNG-PIB programów wieloletnich miał swoją specyfikę, ale cechą wspólną wszystkich było wspieranie rolnictwa. Poniżej przedstawiono efekty poszczególnych programów, wykorzystując wcześniejsze publikacje (2, 3, 4) i sprawozdania merytoryczne składane do MRiRW. Zakres merytoryczny zadań realizowanych w poszczególnych latach był określony w załącznikach do umów rocznych na realizację programu, konsultowany ze specjalistami MRiRW oraz uwzględniał potrzeby i oczekiwania odbiorców wyników zarówno na poziomie resortu, jak również praktyki rolniczej.

Za najważniejsze efekty merytoryczne programu wieloletniego pt. *„Kształtowanie środowiska rolniczego Polski oraz zrównoważony rozwój produkcji rolniczej”* (2005–2010) uznać należy:

- wskazanie obszarów wymagających wsparcia w ramach polityki państwa (interwencjonizmu państwowego) z tytułu niekorzystnych warunków gospodarowania w rolnictwie i tym samym ukierunkowanie polityki rolnej;
- dokonanie obiektywnej oceny zagrożeń dla siedliskowej funkcji gleb oraz tworzenie przesłanek do racjonalnej gospodarki ziemią;
- wskazanie niezbędnych kierunków zmian w gospodarce nawozowej z uwzględnieniem zróżnicowania regionalnego;
- opracowanie kompleksowej prognozy produkcji roślinnej w Polsce do roku 2020, a także ocena możliwości pokrycia potrzeb żywnościowych i energetycznych Polski;
- wskazanie możliwości rozwoju różnych systemów gospodarowania w rolnictwie (konwencjonalny, zrównoważony – integrowany i ekologiczny) i kierunków produkcji, a w rezultacie wskazanie szans dla polskiego rolnictwa na rynkach międzynarodowych;
- wskazanie kierunków działań zwiększających konkurencyjność polskiego rolnictwa w zakresie produkcji roślinnej, a w efekcie umocnienie pozycji polskiego sektora rolno-żywnościowego w warunkach globalizacji;
- dokonanie oceny wpływu WPR na stan środowiska przyrodniczego, tj. dostarczenie wiarygodnych, reprezentatywnych danych do raportów dla UE;
- wspieranie Rządu Rzeczypospolitej Polskiej w negocjacjach z UE poprzez dostarczanie argumentów popartych wynikami badań i analiz, uwzględniających specyfikę i regionalne zróżnicowanie polskiego rolnictwa;
- wdrożenie systemu doradztwa nawozowego (agrotechnicznego) jako formy wspierania modernizacji gospodarstw, a tym samym wspieranie merytoryczne producentów rolnych w zakresie realizacji koncepcji rozwoju zrównoważonego.

Najważniejsze efekty merytoryczne programu wieloletniego pt. „*Wspieranie działań w zakresie kształtowania środowiska rolniczego i zrównoważonego rozwoju produkcji rolniczej w Polsce*” (2011–2015) to:

- wspieranie zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich;
- różnicowanie działalności rolniczej w celu zapewnienia alternatywnych źródeł dochodu;
- ochrona walorów przyrodniczo-krajobrazowych obszarów wiejskich;
- aktywizacja społeczności wiejskiej i poprawa infrastruktury społecznej;
- poprawa konkurencyjności rolnictwa;
- poprawa efektywności i dochodowości gospodarstw rolnych poprzez ich modernizację i zmianę struktur rolnych;
- wspieranie rozwoju społeczeństwa informacyjnego i gospodarki opartej na wiedzy;
- wzmacnianie znaczenia i pozycji rolników na rynkach rolnych.

Program wieloletni pt. „*Wspieranie działań w zakresie ochrony i racjonalnego wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce oraz kształtowania jakości surowców roślinnych na lata 2016–2020*” był natomiast nakierowany na wspieranie decyzji w zakresie:

- zapewnienia samowystarczalności żywnościowej Polski i możliwości eksportu;
- pokrycia popytu na surowce roślinne na paszę i do spożycia;
- poprawy jakości surowców roślinnych;
- zabezpieczenia możliwości produkcji surowców rolniczych dla przemysłu i na cele energetyczne;
- utrzymania potencjału produkcyjnego polskiego rolnictwa i zwiększenie jego konkurencyjności i innowacyjności;
- zmniejszenia zagrożeń dla środowiska przyrodniczego;
- zachowania i poprawy stanu gleb;
- racjonalnej gospodarki wodnej
- łagodzenia skutków zmian klimatu;
- realizacji funkcji środowiskowych i retencyjnych gleb;
- wsparcia realizacji dyrektyw i rozporządzeń UE oraz oceny skutków WPR;
- wspierania rozwoju biogospodarki;
- oceny nowych strategii i koncepcji rozwojowych.

Pierwszy z realizowanych w Instytucie programów wieloletnich umożliwił obiektywną ocenę aspektów społecznych, ekonomicznych i środowiskowych w obszarze zrównoważonego rozwoju rolnictwa. Kolejny wspierał działania resortu rolnictwa w zakresie kształtowania środowiska rolniczego oraz zrównoważonego rozwoju produkcji rolniczej poprzez ocenę stanu rolnictwa i skutków środowiskowych rozwoju rolnictwa. Trzeci z programów wieloletnich dawał odpowiedzi na pytania, jakie

decyzje należy podejmować i jakie mogą być ich przewidywane skutki produkcyjne, ekonomiczne, organizacyjne i środowiskowe.

Zakres merytoryczny zadań w ramach programów wieloletnich realizowanych w latach 2005–2020 poza rozwiązywaniem problemów polskiego rolnictwa obejmował również problematykę rolniczą w obszarze Unii Europejskiej, między innymi w zakresie reformy Wspólnej Polityki Rolnej, bezpieczeństwa energetycznego, ochrony wód Morza Bałtyckiego i wpływu zmian klimatu na rolnictwo.

Wszystkie realizowane programy wieloletnie były również platformą współpracy z praktyką rolniczą i doradztwem, czego dowodem są liczne szkolenia i warsztaty naukowe (tab. 7–10) o szerokim spektrum tematyki badawczej skierowanej na aktualne problemy polskiego rolnictwa (tab. 12). Z takiej formy zdobywania wiedzy i podnoszenia swoich kwalifikacji w latach 2005–2020 skorzystało 22181 osób. Beneficjentami tej formy popularyzacji badań naukowych byli doradcy, przedsiębiorcy rolni, przedstawiciele administracji państwowej i samorządowej, specjaliści izb rolniczych, a także uczniowie szkół rolniczych podległych MRiRW.

Ważną formą wsparcia doradztwa i praktyki rolniczej były również publikacje naukowe, popularnonaukowe, instrukcje wdrożeniowe i upowszechnieniowe, opracowywane w ramach realizowanych zadań programów wieloletnich (tab. 1–3 i 10–11), przekazywane i udostępniane na stronie internetowej Instytutu w zakładce „programy wieloletnie”. Tytuły zeszytów wydanych w ramach serii „Studia i Raporty IUNG-PIB” świadczą o szerokim zakresie merytorycznym programów wieloletnich. Ich treścią były bowiem problemy ściśle związane z potrzebami polskiego rolnictwa występującymi na poziomie całego kraju i poszczególnych jego regionów.

Dobłą formą komunikacji z praktyką rolniczą była również platforma „Nauka praktyce rolniczej” (<http://www.npr.iung.pulawy.pl/>), dzięki której odbiorca miał dostęp do oferty dydaktycznej i wydawniczej IUNG-PIB, aktualnie obowiązujących zaleceń i programów doradczych. Wymiernym efektem realizacji programów wieloletnich są ogólnodostępne narzędzia do wspomagania decyzji. Przykładem może być wyszukiwarka nawozów i środków wspomagających uprawę roślin. Umożliwiła ona wyszukiwanie produktów wg zadanego kryterium: nazwa produktu, producent, rodzaj produktu, sposób stosowania, składniki produktu, grupa użytkowa (<http://www.ipm.iung.pulawy.pl/fert/fert.aspx?show=true>).

Tabela 1

Liczba publikacji opracowanych w latach 2006–2010 w ramach programu wieloletniego IUNG-PIB

Rok	2006	2007	2008	2009	2010	Ogółem
Liczba publikacji*	20	68	44	68	58	258

\*publikacje wydane w ramach serii „Studia i Raporty IUNG-PIB”

Źródło: opracowanie własne na podstawie sprawozdań rocznych

Tabela 2

Liczba publikacji opracowanych w latach 2011–2015 w ramach programu wieloletniego IUNG-PIB

Rok	2011	2012	2013	2014	2015	Ogółem
Liczba publikacji	48	122	122	122	121	535

Źródło: opracowanie własne na podstawie sprawozdań rocznych

Tabela 3

Liczba publikacji opracowanych w latach 2016–2020 w ramach programu wieloletniego IUNG-PIB

Rok	2016	2017	2018	2019	2020	Ogółem
Liczba publikacji	71	92	92	46*	92	393

\* od II kwartału 2019 r. realizowano 7 zadań

Źródło: opracowanie własne na podstawie sprawozdań rocznych

Tabela 4

Liczba zeszytów serii „Studia i Raporty IUNG-PIB” wydanych w okresie 2005–2010

Rok	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Ogółem
Liczba zeszytów z serii „Studia i Raporty IUNG-PIB”	0*	3	6	4	5	8	26

\* realizację programu rozpoczęto w II połowie 2005 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie sprawozdań rocznych

Tabela 5

Liczba zeszytów serii „Studia i Raporty IUNG-PIB” wydanych w okresie 2011–2015

Rok	2011	2012	2013	2014	2015	Ogółem
Liczba zeszytów z serii „Studia i Raporty IUNG-PIB”	1	4	4	6	5	20

Źródło: opracowanie własne na podstawie sprawozdań rocznych

Tabela 6

Liczba zeszytów serii „Studia i Raporty IUNG-PIB” wydanych w okresie 2016–2020

Rok	2016	2017	2018	2019	2020	Ogółem
Liczba zeszytów z serii „Studia i Raporty IUNG-PIB”	4	4	4	2	4	18

Źródło: opracowanie własne na podstawie sprawozdań rocznych

Tabela 7

Liczba konferencji i warsztatów zrealizowanych w latach 2005–2010 w ramach programu wieloletniego IUNG-PIB

Rok	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Ogółem
Liczba konferencji, warsztatów, seminariów	0*	9	15	11	14	7	58
Liczba uczestników	0	908	1 037	903	1 061	451	4 360

\* realizację programu rozpoczęto w II połowie 2005 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie sprawozdań rocznych

Tabela 8  
Liczba konferencji i warsztatów zrealizowanych w latach 2011–2015 w ramach programu wieloletniego IUNG-PIB

Rok	2011	2012	2013	2014	2015	Ogółem
Liczba konferencji, warsztatów, seminariów	8	18	19	19	16	88
Liczba uczestników	746	1 610	1 886	2 306	2 464	9 012

Źródło: opracowanie własne na podstawie sprawozdań rocznych

Tabela 9  
Liczba konferencji i warsztatów zrealizowanych w latach 2016–2020 w ramach programu wieloletniego IUNG-PIB

Rok	2016	2017	2018	2019	2020	Ogółem
Liczba konferencji, warsztatów, seminariów	20	20	20	8*	20	88
Liczba uczestników	2 009	2 655	2 115	673	1 357	8 809

\* od II kwartału 2019 r. realizowano 7 zadań

Źródło: opracowanie własne na podstawie sprawozdań rocznych

Tabela 10  
Mierniki zrealizowane w ramach programów wieloletnich w latach 2005–2020

Miernik	Mierniki zrealizowane w ramach poszczególnych programów wieloletnich			
	2005–2010	2011–2015	2016–2020	Ogółem
Liczba publikacji	258	535	393	1 186
w tym liczba publikacji w ramach serii „Studia i Raporty IUNG-PIB”	274	198	152	624
Liczba ekspertyz, poradników, opinii, raportów, opracowań	-	94	51	111
Liczba zeszytów w serii „Studia i Raporty IUNG-PIB”	26	20	18	64
Liczba konferencji, warsztatów, seminariów, szkoleń	56	80	88	224
Liczba uczestników konferencji, warsztatów, seminariów, szkoleń	4 360	9 012	8 809	22 181

Źródło: opracowanie własne na podstawie sprawozdań rocznych



Tabela 11

Wykaz zeszytów z serii „Studia i Raporty IUNG-PIB” wydanych w latach 2005–2020

Okres realizacji programu	Tytuł zeszytu z serii „Studia i Raporty IUNG-PIB”
2005–2010	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wybrane aspekty agrochemicznych badań gleby.</li> <li>2. Zasady wprowadzania nawozów do obrotu.</li> <li>3. Regionalne zróżnicowanie produkcji rolniczej w Polsce.</li> <li>4. Monitoring skutków środowiskowych planu rozwoju obszarów wiejskich.</li> <li>5. Sprawdzenie przydatności wskaźników do oceny zrównoważonego gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach gminach i województwach.</li> <li>6. Możliwości rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce.</li> <li>7. Współczesne uwarunkowania organizacji produkcji w gospodarstwach rolniczych.</li> <li>8. Efektywne i bezpieczne metody regulacji zachwaszczenia, nawożenia i uprawy roli.</li> <li>9. Wybrane elementy technologii produkcji roślinnej.</li> <li>10. Problem erozji gleb w procesie przemian strukturalnych na obszarach wiejskich.</li> <li>11. Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce.</li> <li>12. Wybrane zagadnienia systemów informacji przestrzennej i obszarów problemowych rolnictwa w Polsce.</li> <li>13. Tworzenie postępu biologicznego w hodowli tytoniu i chmielu.</li> <li>14. Kierunki zmian w produkcji roślinnej w Polsce do roku 2020.</li> <li>15. Wybrane elementy regionalnego zróżnicowania rolnictwa w Polsce.</li> <li>16. Systemy wspomagania decyzji w zrównoważonej produkcji roślinnej.</li> <li>17. Stan i kierunki zmian w produkcji rolniczej (wybrane zagadnienia).</li> <li>18. Produkcyjne i środowiskowe aspekty współczesnych metod nawożenia i regulacji zachwaszczenia.</li> <li>19. Oddziaływanie rolnictwa na środowisko przyrodnicze w warunkach zmian klimatu.</li> <li>20. Ocena zrównoważenia gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach, powiatach i województwach.</li> <li>21. Możliwości rozwoju obszarów problemowych rolnictwa (OPR) w świetle PROW 2007–2013.</li> <li>22. Możliwości rozwoju gospodarstw o różnych kierunkach produkcji rolniczej w Polsce.</li> <li>23. Związki fitogeniczne jako naturalna alternatywa antybiotykowych promotorów wzrostu.</li> <li>24. Wybrane aspekty przemian strukturalnych na obszarach wiejskich.</li> <li>25. Stan obecny i perspektywy nawożenia roślin w Polsce w aspekcie regulacji prawnych.</li> <li>26. Stan obecny i perspektywy rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce.</li> </ol>

Tabela 11, cd.

Okres realizacji programu	Tytuł zeszytu z serii „Studia i Raporty IUNG-PIB”
2011–2015	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Środowiskowe skutki działalności rolniczej i wdrażania PROW na obszarach problemowych rolnictwa.</li> <li>2. Techniki i technologie stosowane w produkcji roślinnej a środowisko przyrodnicze.</li> <li>3. Problemy zrównoważonego gospodarowania w produkcji rolniczej.</li> <li>4. Doskonalenie integrowanych technologii produkcji zbóż jarych i roślin pastewnych ze szczególnym uwzględnieniem początkowych elementów agrotechniki.</li> <li>5. Rola badań naukowych w kształtowaniu postępu w produkcji chmielu i tytoniu.</li> <li>6. Wybrane aspekty zrównoważonego rozwoju i specjalizacji gospodarstw rolnych.</li> <li>7. Działalność Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB w Puławach w zakresie wspierania doradztwa i praktyki rolniczej.</li> <li>8. Problemy gospodarki nawozowej w Polsce.</li> <li>9. Zagrożenia dla prawidłowego funkcjonowania gleb użytkowanych rolniczo – wybrane zagadnienia.</li> <li>10. Zmiany w technologii produkcji roślinnej – oceny i wpływ na środowisko rolnicze.</li> <li>11. Dobre praktyki w nawożeniu.</li> <li>12. Jakość informacji w systemach wspomaganie decyzji.</li> <li>13. Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii pochodzenia rolniczego i ich wpływ na środowisko.</li> <li>14. Wybrane problemy rolnictwa polskiego z uwzględnieniem stanu jego zrównoważenia.</li> <li>15. Technologie produkcji zbóż i roślin pastewnych warunkujące wysoki plon i dobrą jakość.</li> <li>16. Podstawy nowoczesnego doradztwa nawozowego w Polsce.</li> <li>17. Wybrane problemy produkcji rolniczej z uwzględnieniem aspektu dóbr publicznych.</li> <li>18. Wybrane zagadnienia produkcji roślinnej w Polsce.</li> <li>19. Kształtowanie żyzności gleby.</li> <li>20. Wybrane zagadnienia związane z ochroną gleb przed degradacją.</li> </ol>

Tabela 11, cd.

Okres realizacji programu	Tytuł zeszytu z serii „Studia i Raporty IUNG-PIB”
2016–2020	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Problemy produkcji rolniczej w Polsce w kontekście ich oddziaływania na środowisko.</li> <li>2. Innowacje w nawożeniu.</li> <li>3. Siedliskowe i agrotechniczne uwarunkowania produkcji roślinnej w Polsce.</li> <li>4. Technologie produkcji roślinnej w warunkach zmieniającego się klimatu.</li> <li>5. Uwarunkowania i kierunki zmian produkcji rolniczej w Polsce.</li> <li>6. Aktualne problemy nawożenia.</li> <li>7. Technologie produkcji roślinnej w warunkach zmieniającego się klimatu.</li> <li>8. Stan zagrożeń dla jakości gleb w Polsce.</li> <li>9. Uwarunkowania i kierunki zmian produkcji rolniczej w Polsce.</li> <li>10. Aktualne problemy nawożenia.</li> <li>11. Technologie produkcji roślinnej w warunkach zmieniającego się klimatu.</li> <li>12. Stan zagrożeń dla jakości gleb w Polsce.</li> <li>13. Środowiskowe aspekty gospodarki nawozowej.</li> <li>14. Znaczenie postępu biologicznego i technologicznego w produkcji zbóż i roślin strączkowych.</li> <li>15. Uwarunkowania i perspektywy rozwoju produkcji rolniczej w różnych regionach Polski.</li> <li>16. Wybrane zagadnienia agrotechniki roślin uprawnych.</li> <li>17. Uwarunkowania i perspektywy rozwoju produkcji rolniczej w różnych regionach Polski.</li> <li>18. Nawożenie – aspekty produkcyjne i środowiskowe.</li> <li>19. Stan zagrożeń dla jakości gleb w Polsce – cz. 2.</li> </ol>

Źródło: opracowanie własne na podstawie sprawozdań rocznych

Tabela 12

Wykaz tematyki konferencji i warsztatów zorganizowanych w latach 2005-2020

Lp.	Tematy konferencji i warsztatów naukowych w latach 2005–2020
1.	Wpływ działań WPR na organizację oraz efekty produkcyjne i ekonomiczne przedsiębiorstw rolnych o różnych kierunkach specjalizacji.
2.	Mikroorganizmy symbiotyczne w nauce i praktyce.
3.	Aktualne wyzwania dla produkcji chmielu w Polsce.
4.	Badania technologiczne i środowiskowe IUNG-PIB w Puławach a potrzeby doradztwa i praktyki rolniczej.
5.	Badania naukowe jako wsparcie rozwoju obszarów problemowych.
6.	Zróżnicowanie możliwości rozwoju rolnictwa w Polsce według regionów i grup gospodarstw.
7.	Innowacje i metody upowszechniania wyników badań naukowych IUNG-PIB w praktyce rolniczej.
8.	Ochrona gleb i krajobrazu w rozwoju przestrzennym i polityce rolnej.
9.	Różne aspekty integrowanej ochrony roślin Sesja 1. Ocena możliwości doskonalenia i rozwoju integrowanej produkcji roślinnej; Sesja 2. Herbologia w świetle integrowanej ochrony roślin.
10.	Problemy racjonalnej gospodarki nawozowej.

Tabela 12, cd.

Lp.	Tematy konferencji i warsztatów naukowych w latach 2005–2020
11.	Warsztaty terenowe – 2 sesje wyjazdowe: I. Przykłady działań w zakresie scaleń i odnowy wsi jako narzędzi do racjonalnego gospodarowania gruntami; II. Prace urzędniowo-rolne a wielofunkcyjny rozwój obszarów problemowych rolnictwa na przykładzie obiektu „Gorajce”.
12.	Gospodarowanie zasobami środowiska w warunkach wsparcia Wspólnej Polityki Rolnej.
13.	Innowacyjne rozwiązania w technologiach uprawy roślin rolniczych.
14.	Biogospodarka, biotechnologie, gospodarka niskoemisyjna a środowisko i zmiany klimatyczne.
15.	Transfer wyników badań naukowych do szkół i praktyki rolniczej Sesja 1. Badania naukowe jako wsparcie edukacji i praktyki rolniczej; Sesja 2. Ocena gleb użytkowanych rolniczo z uwzględnieniem prawidłowego funkcjonowania ekosystemów glebowych oraz wskazanie działań zapobiegających procesom degradacyjnym.
16.	Wskaźniki oceny jakości gleb.
17.	Działalność RZD IUNG-PIB jako regionalnych centrów innowacji i postępu w rolnictwie.
18.	Rozwój i zarządzanie terenów rolnych.
19.	Zastosowanie nowoczesnych metod oceny zmienności przestrzennej użytków rolnych.
20.	Ochrona wód przed zanieczyszczeniami pochodzenia rolniczego.
21.	Działalność IUNG-PIB w Puławach na rzecz doradztwa i praktyki rolniczej.
22.	Postęp technologiczny w produkcji roślinnej Sesja 1. Znaczenie postępu technologicznego w produkcji roślinnej; Sesja 2. Doskonalenie technologii produkcji roślinnej w badaniach prowadzonych w IUNG-PIB Puławy; Sesja 3. Środowisko rolnicze – sposoby i efekty kształtowania.
23.	Ocena wpływu WPR na środowisko i rolnictwo Sesja 1. Wpływ Wspólnej Polityki Rolnej na środowisko przyrodnicze i rolnictwo w regionach; Sesja 2. Efekty wdrażania Wspólnej Polityki Rolnej w kontekście wielokierunkowego rozwoju sektora rolnego.
24.	Innowacje w nawożeniu.
25.	Nowe wyzwania dla produkcji tytoniu w Polsce.
26.	Współpraca nauki z samorządami.
27.	Wykorzystanie narzędzi komputerowych i oprogramowania w praktyce rolniczej.
28.	Wpływ Wspólnej Polityki Rolnej na regionalne zróżnicowanie zmian w produkcji rolniczej w Polsce.
29.	Formy i kierunki współpracy IUNG-PIB ze szkołami i praktyką rolniczą.
30.	Bioróżnorodność środowiska – znaczenie, problemy, wyzwania.
31.	Produkcja zbóż w warunkach zmieniającego się klimatu.
32.	Zróżnicowanie warunków przyrodniczych produkcji rolniczej w Polsce w aspekcie wielofunkcyjnego rozwoju.
33.	Wykorzystanie wyników badań i doświadczeń w rozwoju i zarządzaniu terenów rolnych.
34.	Możliwości ograniczania emisji gazów cieplarnianych, amoniaku i azotanów z rolnictwa – w stronę najlepszych praktyk.

Tabela 12, cd.

Lp.	Tematy konferencji i warsztatów naukowych w latach 2005–2020
35.	Modelowanie systemów rolniczych w warunkach zmian klimatu.
36.	Kształtowanie żyzności gleb i rola nawożenia organicznego.
37.	Krajowe bazy danych o glebach – stan, wykorzystanie, potrzeby.
38.	Wpływ właściwości gleb na ich przydatność rolniczą.
39.	Wpływ realizacji Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich 2014–2020 na gospodarowanie przestrzenią wiejską – stan obecny i perspektywy.
40.	Zagrożenia dla funkcjonowania gleb użytkowanych rolniczo.
41.	Rola RZD IUNG-PIB w kształtowaniu innowacyjności i konkurencyjności polskiego rolnictwa.
42.	Ocena możliwości kształtowania poziomu i jakości produkcji roślinnej z uwzględnieniem przewidywanych zmian klimatu.
43.	Innowacyjne rozwiązania wspierające produkcję chmielu zgodnie z zasadami integrowanej ochrony roślin.
44.	Uwarunkowania i tendencje zmian produkcji rolniczej w Polsce.
45.	Nawożenie a jakość gleby.
46.	Formy i kierunki współpracy IUNG-PIB ze szkołami i praktyką rolniczą.
47.	Postęp technologiczny w produkcji roślinnej – 2 sesje tematyczne: I. Postęp technologiczny w uprawie roślin strączkowych; II. Znaczenie postępu technologicznego dla innowacyjności w produkcji roślinnej.
48.	Regionalne zróżnicowanie innowacji i konkurencyjności rolnictwa – 2 sesje tematyczne: I. Konkurencyjność rolnictwa Lubelszczyzny; II. Wpływ Wspólnej Polityki Rolnej na możliwości rozwoju różnych kierunków produkcji rolniczej w Polsce.
49.	Działalność IUNG-PIB w Puławach jako wsparcie doradztwa i praktyki rolniczej.
50.	Aktualny stan i potrzeby ochrony gleb zasobnych w węgiel organiczny.
51.	Mitygacja negatywnego oddziaływania rolnictwa na środowisko naturalne.
52.	Nowy sposób gospodarowania przestrzenią wiejską i podmiejską w Polsce – sesja: <i>Podstawowe problemy gospodarowania przestrzenią na obszarach wiejskich.</i>
53.	Nowy sposób gospodarowania przestrzenią wiejską i podmiejską w Polsce – sesja: <i>Wsparcie racjonalnej gospodarki przestrzennej na obszarach wiejskich i podmiejskich.</i>
54.	Bioróżnorodność funkcjonalna gleb Polski.
55.	Wielofunkcyjny rozwój obszarów wiejskich – 2 sesje tematyczne: I. Zadrzewienia i systemy rolno-leśne a wielofunkcyjny rozwój obszarów problemowych; II. Działania strategiczne i planistyczne gmin a wielofunkcyjny rozwój obszarów wiejskich.
56.	Ocena użytkowania gruntów rolnych w aspekcie adaptacji wobec zmian klimatu.
57.	Działania służące ograniczaniu emisji gazów cieplarnianych i amoniaku z rolnictwa.
58.	Dobre praktyki rolnicze w ochronie funkcji gleb.
59.	Prognozowanie zmian w rolnictwie i środowisku – 2 sesje tematyczne: I. Możliwości prognozowania zmian w rolnictwie i środowisku obszarów wiejskich; II. Systemy oceny jakości gleb w Polsce.
60.	Konkurencyjność i innowacyjność gospodarstw rolnych w oparciu o wyniki badań IUNG-PIB.
61.	Rola badań naukowych w tworzeniu innowacyjnych rozwiązań w uprawie chmielu i tytoniu.

Tabela 12, cd.

Lp.	Tematy konferencji i warsztatów naukowych w latach 2005–2020
62.	Działalność doświadczalna RZD IUNG-PIB jako wsparcie innowacyjności rolnictwa.
63.	Rolnictwo – Wspólna Polityka Rolna – Środowisko.
64.	Technologie produkcji w warunkach zmian klimatycznych.
65.	Stosowanie dobrych praktyk w rolnictwie celem ograniczania emisji amoniaku i azotanów.
66.	Gospodarka nawozowa i wyzwania wynikające z „programu azotanowego” w Polsce.
67.	Systemy produkcji roślinnej.
68.	Usługi ekosystemowe gleb – wskaźniki i metody oceny.
69.	Nauka dla ochrony zdrowia roślin.
70.	Uwarunkowania i kierunki rozwoju RZD IUNG-PIB jako wiodących gospodarstw wdrożeniowych.
71.	Adaptacja gospodarki wodnej w rolnictwie do zmieniającego się klimatu.
72.	Redukcja emisji gazów cieplarnianych i amoniaku z rolnictwa.
73.	Wpływ WPR na polskie rolnictwo.
74.	Współpraca nauki z wyższymi uczelniami – technologia uprawy roślin specjalnych oraz systemy gospodarowania w rolnictwie.
75.	Nowe wyzwania dla gospodarki nawozowej.
76.	Rola postępu biologicznego i technologicznego w kształtowaniu produkcji roślinnej. Innowacyjne technologie w produkcji roślinnej.
77.	Ile warty jest krajobraz? Jak nim gospodarować?
78.	Integracja i doskonalenie systemów klasyfikacji gleb Polski – gleby rolnicze, leśne i antropogeniczne.
79.	Ekonomiczna i środowiskowa efektywność technologii upraw rolniczych w warunkach zmian klimatu.
80.	Wyzwania wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich.
81.	Ekosystemy glebowe – ochrona przed procesami degradacyjnymi.
82.	Bioróżnorodność środowiska glebowego – wskaźniki oceny.
83.	Formy współpracy IUNG-PIB i szkół rolniczych w ramach sieci AKIS.
84.	Produkcja roślinna w warunkach niekorzystnych zmian klimatycznych.
85.	Specyfika uwarunkowań organizacyjno-produkcyjnych rolnictwa województwa mazowieckiego na tle kraju.
86.	Szanse i ograniczenia dla ICT w polskim rolnictwie.
87.	Wpływ rolnictwa na jakość środowiska przyrodniczego.
88.	Próba prognozowania zmian w rolnictwie i środowisku obszarów wiejskich.

Źródło: opracowanie własne na podstawie sprawozdań rocznych

### Podsumowanie

W opracowaniu przedstawiono efekty merytoryczne i ilościowe (liczbowe) 3 programów wieloletnich realizowanych i koordynowanych przez IUNG-PIB. Działania realizowane w ramach programów wieloletnich były nakierowane na

wspieranie działań MRiRW w zakresie problemów strategicznych dla Polski poprzez: pozyskiwanie, gromadzenie i przetwarzanie danych, sporządzanie diagnoz, ocen i analiz dotyczących różnych poziomów zarządzania, przygotowywanie analiz przestrzennych, przygotowywanie scenariuszy na podstawie tendencji i trendów, przygotowywanie ekspertyz.

Analiza wykazała, że uzyskane efekty były ściśle powiązane z wyzwaniem stojącym przed nauką i doradztwem. Realizując zadania programów wieloletnich, IUNG-PIB kreował postęp w produkcji roślinnej, inicjował zmiany w zakresie kształtowania środowiska rolniczego poprzez analizę zagrożeń i proponowanie rozwiązań przyjaznych dla środowiska rolniczego. Jednocześnie zwracano uwagę na aspekty regionalne oraz specyfikę różnych grup gospodarstw i ich chłonność na postęp i kondycję ekonomiczną.

Zakresy merytoryczne kolejnych programów wieloletnich wpisywały się w obowiązujące dyrektywy UE w zakresie rolnictwa i rozwoju obszarów wiejskich, reformy Wspólnej Polityki Rolnej, ochrony wód Morza Bałtyckiego i wpływu zmian klimatu na rolnictwo.

Efekty realizacji programów wieloletnich były ważne z punktu widzenia służb doradczych, dając podstawy do przewidywania konsekwencji działalności rolniczej i podjęcia działań o charakterze naprawczym i strategicznym. Były one zdeterminowane przez cele, strukturę i zakresy merytoryczne poszczególnych programów wieloletnich.

Transfer wyników badań do praktyki miał charakter wielokierunkowy, dotyczył zarówno gospodarstw, jak i jednostek administracyjnych, władz samorządowych oraz MRiRW. Tworząc ofertę dla doradztwa i praktyki, Instytut brał pod uwagę specyfikę regionalnego zróżnicowania obszarów wiejskich i gospodarstw rolnych, wiedząc, że fundamentem rozwoju jest relacja informacja – wiedza. Jednocześnie uwzględniał sugestie MRiRW oraz potrzeby i oczekiwania doradztwa i praktyki rolniczej.

Reasumując, można stwierdzić, że programy wieloletnie IUNG-PIB były płaszczyzną rzeczywistej współpracy nauki i doradztwa z praktyką. Porównanie efektów realizowanych przez Instytut programów wieloletnich wskazuje na szeroki zakres merytoryczny analiz i ocen, ich ukierunkowanie na wspieranie decyzji o dużym znaczeniu społecznym i gospodarczym oraz systematyczne podejmowanie nowych wyzwań. Uzyskane efekty są też potwierdzeniem zaangażowania i aktywności zespołów realizujących poszczególne zadania i towarzyszących im specjalistów. Działania podejmowane przez IUNG-PIB w ramach poszczególnych programów wieloletnich były pozytywnie oceniane przez szerokie grono odbiorców.

Analizując efekty programów wieloletnich realizowanych w IUNG-PIB, można zauważyć, że spełniały one szereg funkcji i były płaszczyzną do wielokierunkowej, zróżnicowanej merytorycznej współpracy z MRiRW, doradztwem i praktyką rolniczą. Stanowiły wsparcie innowacyjności i konkurencyjności polskiego rolnictwa oraz procesów ochrony i kształtowania jakości surowców roślinnych, zmniejszania zagrożeń dla środowiska przyrodniczego, wynikających z działalności rolniczej oraz wdrażania koncepcji biogospodarki. Dostarczały wskazania praktycznych sprzyjających

realizacji koncepcji zrównoważonego rozwoju rolnictwa. Realizacja programów wieloletnich dawała możliwość łączenia działalności naukowo-badawczej z ekspercką i reagowanie na potrzeby MRiRW w tym zakresie. Warto również podkreślić, że programy wieloletnie realizowano, wykorzystując wyniki badań naukowych IUNG-PIB. Programy te były formą szerokiej promocji Instytutu, wyznacznikiem różnych form aktywności poszczególnych pracowników i całych zespołów realizujących zakresy merytoryczne zadań. Warto wspomnieć, że programy były realizowane we współpracy z innymi jednostkami badawczymi i uczelniami z całego kraju, czego dowodem są opracowania naukowe. Publikacje będące wymiernym efektem programów wieloletnich miały charakter zarówno naukowy, jak i popularnonaukowy czy szkoleniowy. Zajmują one znaczące miejsce w strukturze dorobku publikacyjnego IUNG-PIB w ocenianym okresie.

### Literatura

1. Franek M.: Programy wieloletnie jako przykład stosowania wieloletniego planowania budżetowego. Zeszytu naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, 2012, **729(54)**: 29-41.
2. Krasowicz S., Oleszek W.: Program wieloletni IUNG-PIB jako wsparcie rozwoju polskiego rolnictwa. Materiały konferencji „Program wieloletni IUNG-PIB jako wsparcie procesów kształtowania środowiska rolniczego i zrównoważonego rozwoju”, IUNG-PIB Puławy, 23.11.2015, s. 3-26.
3. Krasowicz S.: Programy wieloletnie jako wsparcie rozwoju polskiego rolnictwa. Roczniki Naukowe SERiA, 2015, **17(3)**: 210-216.
4. Krasowicz S., Stachyra M.: Programy wieloletnie IUNG-PIB jako płaszczyzna współpracy nauki i doradztwa z praktyką rolniczą. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2016, **47(1)**: 9-24.
5. Sprawozdania z realizacji programów wieloletnich IUNG-PIB w latach 2005–2020, Puławy.
6. Uchwała Rady Ministrów nr 79/2005 z dnia 29 marca 2005 r.
7. Uchwała nr 175/2011 z dnia 6 września 2011 r.
8. Uchwała nr 223/2015 z dnia 15 grudnia 2015 r.
9. Uchwała nr 132/2019 z dnia 28 października 2019 r.

---

Adres do korespondencji:

*prof. dr hab. Stanisław Krasowicz, prof. dr hab. Mariusz Matyka*  
*Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy*  
*tel. 81 47 86 802*  
*email: sk@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR	ORCID
Stanisław Krasowicz	0000-0003-3949-1444
Mariusz Matyka	0000-0001-6269-1175
Małgorzata Stachyra	0000-0002-9350-6814





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

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

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

- 58(12).** *Stan zagrożeń dla jakości gleb w Polsce.* Puławy, 2018.
- 59(13).** *Środowiskowe aspekty gospodarki nawozowej.* Puławy, 2019.
- 60(14).** *Znaczenie postępu biologicznego i technologicznego w produkcji zbóż i roślin strączkowych.*  
Puławy, 2019
- 61(15).** *Wybrane zagadnienia agrotechniki roślin uprawnych.* Puławy, 2020.
- 62(16).** *Uwarunkowania i perspektywy rozwoju produkcji rolniczej w różnych regionach Polski.*  
Puławy, 2020.
- 63(17).** *Nawożenie – aspekty produkcyjne i środowiskowe.* Puławy, 2020.

## WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

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

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

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

### **Przygotowanie do druku:**

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

### **tekst**

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

### **tabele**

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

### **rysunki/fotografie**

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

### **jednostki miary**

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

### **literatura**

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

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

Dane kontaktowe:

mgr Ewa Decka-Cywińska

Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB

ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy

e-mail: edeka@iung.pulawy.pl



ISBN 978-83-7562-351-2

Egzemplarz bezpłatny