

**STUDIA I RAPORTY
IUNG-PIB**

66(20)



**ZRÓWNOWAŻONE UŻYTKOWANIE
I OCHRONA GLEB JAKO ELEMENT
EUROPEJSKIEGO ZIELONEGO ŁADU**

DOTACJA CELOWA
2021

Puławy 2021



INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

**STUDIA I RAPORTY
IUNG-PIB**

66(20)

**ZRÓWNOWAŻONE UŻYTKOWANIE
I OCHRONA GLEB JAKO ELEMENT
EUROPEJSKIEGO ZIELONEGO ŁADU**

**DOTACJA CELOWA
2021**

Puławy 2021

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: *prof. dr hab. Wiesław Oleszek*

Redakcja naukowa:

dr hab. Grzegorz Siebielec, prof. IUNG-PIB; dr hab. Bożena Smreczak

Autorzy:

*mgr Beata Bartosiewicz; dr inż. Alina Bochniarz; mgr Joanna Ciepiel;
mgr Dominika Gmur; dr Jan Jadczyzyn; dr Aleksandra Ukalska-Jaruga;
mgr Radosław Kaczyński; dr Monika Kowalik; mgr Piotr Koza;
prof. dr hab. Stanisław Krasowicz; mgr Artur Łopatka; dr Beata Suszek-Łopatka;
mgr Magdalena Łysiak; dr inż. Andrzej Madej; dr inż. Jacek Niedźwiecki;
dr inż. Eugeniusz Nowocien; dr inż. Piotr Ochal; dr Agnieszka Klimkowicz-Pawlas;
dr hab. Grzegorz Siebielec, prof. IUNG-PIB; mgr inż. Sylwia Siebielec;
dr hab. inż. Bożena Smreczak; dr hab. inż. Rafał Wawer, prof. IUNG-PIB*

Recenzenci:

*dr hab. Agnieszka Baran, prof. URK; prof. dr hab. Antoni Faber;
prof. dr hab. Stanisław Krasowicz; prof. dr hab. Mariusz Matyka;
dr Agnieszka Klimkowicz-Pawlas; dr hab. inż. Dorota Piłkuła;
dr hab. Grzegorz Siebielec, prof. IUNG-PIB;
dr hab. Janusz Smagacz, prof. IUNG-PIB*

Opracowanie redakcyjne i techniczne: *mgr Katarzyna Mikulska*

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

ISBN 978-83-7562-366-6

Egzemplarz bezpłatny

Nakład 1000 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; <http://www.iung.pulawy.pl>

**ZRÓWNOWAŻONE UŻYTKOWANIE I OCHRONA GLEB
JAKO ELEMENT EUROPEJSKIEGO ZIELONEGO ŁADU**

SPIS TREŚCI

Wstęp	7
1. Smreczak B., Ukalska-Jaruga A., Ciepiał J. – Zrównoważone użytkowanie gleb rolniczych w polityce Unii Europejskiej do 2050 r.	9
2. Siebielec G., Siebielec S., Kaczyński R., Gmur D., Koza P. – Egzogenna materia organiczna jako element Europejskiego Zielonego Ładu	27
3. Nowocień E., Wawer R. – Środowiskowe skutki erozji gleb i metody przeciwdziałania	43
4. Niedźwiecki J., Ochal P. – Środowiskowe skutki zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo i ich ograniczanie.....	81
5. Klimkowicz-Pawlas A. – Środowiskowe i zdrowotne skutki zanieczyszczenia gleb oraz metody przeciwdziałania	91
6. Jadczyżyn J., Bartosiewicz S. – Praktyki zwiększające retencję i wykorzystanie wody w glebie.....	117
7. Łopatka A., Smreczak B., Łysiak M., Koza P., Suszek-Łopatka B. – Prognoza wpływu EZŁ na właściwości gleby i plony zbóż z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego	129
8. Madej A., Krasowicz S. – Uwarunkowania konkurencyjności rolnictwa Lubelszczyzny.....	153
9. Kowalik M. – Kanały komunikacji naukowej i upowszechniania wiedzy z zakresu ochrony gleb w kontekście nowych wyzwań strategicznych Europejskiego Zielonego Ładu	171
10. Bochniarz A. – Tematyka glebowa w wydawnictwach naukowych IUNG-PIB	185

Wstęp

Obecnie do najważniejszych globalnych wyzwań należą: ograniczenie poziomu wykorzystania i degradacji środowiska naturalnego, racjonalna gospodarka wodą, zrównoważone gospodarowanie odpadami oraz rozwój gospodarki o obiegu zamkniętym. Od 2020 r. w Europie wdrażany jest Europejski Zielony Ład (EZŁ), która ma rozwinąć w Unii Europejskiej zasobooszczędną, a jednocześnie konkurencyjną gospodarkę. EZŁ zawiera plan działań umożliwiających m.in. bardziej efektywne wykorzystanie zasobów dzięki przejściu na gospodarkę o obiegu zamkniętym, przeciwdziałanie utracie różnorodności biologicznej i zmniejszenie poziomu zanieczyszczeń. Strategie UE wspierające osiągnięcie założeń EZŁ, odnoszące się do rolnictwa, zakładają m.in. ograniczenie wykorzystania syntetycznych środków ochrony roślin oraz zmniejszenie środowiskowych i klimatycznych konsekwencji intensywnej produkcji rolniczej. Przyrost populacji ludzi na świecie i zmniejszanie się dostępności gruntów rolnych z powodu degradacji środowiska i postępującej urbanizacji stwarzają konieczność rozwijania bardziej zrównoważonej produkcji żywności z uwzględnieniem dbałości o zdrowe gleby. W powszechnym rozumieniu rola gleb zazwyczaj jest ograniczona do funkcji produkcyjnej, ściśle związanej z rolnictwem. Funkcja ta, z uwagi na stałą konieczność zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego oraz dostępu do wysokiej jakości żywności, nadal nie traci znaczenia. Z kolei nasze bezpieczeństwo środowiskowe jest uzależnione od funkcji retencyjnej gleby związanej z jej zdolnością do magazynowania wody, zapobiegania powodziom i ograniczania suszy, a także od funkcji filtracyjnej, polegającej na unieszkodliwianiu zanieczyszczeń. Zdrowe gleby zapewniają bioróżnorodność roślin i zwierząt, która odpowiada za odporność całych ekosystemów na zmiany warunków środowiskowych i presje antropogeniczne. Ograniczanie strat oraz zatrzymywanie węgla w glebach mineralnych i organicznych ma znaczenie dla bilansu gazów cieplarnianych. Gleby mają również niebagatelny wpływ na jakość życia i zdrowie ludzi w miastach i na terenach podmiejskich, poprzez ich pozytywne oddziaływanie na jakość powietrza, obniżanie temperatury oraz dostęp mieszkańców do terenów zielonych.

Należy przypuszczać, że jedynie utrzymanie żyznych i zdrowych gleb może pozwolić na zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego przy jednoczesnym ograniczeniu środowiskowego i klimatycznego śladu produkcji rolniczej. Zdrowie gleby to jej zdolność do wypełniania wszystkich istotnych funkcji. O tej zdolności decyduje szereg cech gleby, takich jak struktura, właściwości chemiczne (odpowiedni odczyn, zrównoważony poziom składników nawozowych, brak zanieczyszczenia), zawartość materii organicznej, różnorodność i aktywność biologiczna gleby oraz właściwości retencyjne i przepuszczalność gleby. Wszystkie z tych cech są jednakowo istotne dla funkcjonowania gleby, a jednocześnie możliwości osiągnięcia celów Europejskiego Zielonego Ładu oraz innych celów zrównoważonego rozwoju.

Niniejszy zeszyt Studia i Raporty IUNG-PIB przedstawia najnowsze inicjatywy europejskie w zakresie ochrony gleb, wskazujące na coraz większą świadomość społeczeństw i decydentów na różnych szczeblach administracji w odniesieniu do roli gleb

w obecnym i przyszłym rozwoju Europy i świata. W kolejnych rozdziałach zeszytu przedstawione są najważniejsze zagrożenia dla prawidłowego funkcjonowania gleb i świadczenia przez nie usług ekosystemowych z określeniem skutków ich degradacji. oraz praktyki rolnicze nakierowane na poprawę lub utrzymanie zdrowia i funkcji gleb. Przedstawiono również prognozy powiązań pomiędzy założeniami EZŁ a plonowaniem roślin uprawnych oraz zagadnienia konkurencyjności rolnictwa w nawiązaniu do jakości gleb przy wdrażaniu EZŁ. W przygotowanej monografii dwa rozdziały dotyczą aspektu upowszechniania wiedzy i komunikacji pomiędzy różnymi grupami odbiorców na temat potrzeb i sposobów ochrony funkcji gleb, co będzie niezwykle ważne dla rozwoju rolnictwa chroniącego zdrowe gleby.

dr hab. Grzegorz Siebielec, prof. IUNG-PIB

dr hab. Bożena Smreczak

Bożena Smreczak, Aleksandra Ukalska-Jaruga, Joanna Ciepiał

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

ZRÓWNOWAŻONE UŻYTKOWANIE GLEB ROLNICZYCH W POLITYCE UNII EUROPEJSKIEJ DO 2050 R.*

Słowa kluczowe: użytki rolne, zdrowie gleby, Unia Europejska, Europejski Zielony Ład, strategia glebowa, EJP SOIL

Wstęp

Unia Europejska od kilku dekad podejmuje różne inicjatywy, które mają na celu ochronę gleb przed degradacją. Raporty opublikowane przez Wspólne Centrum Badawcze (JRC) (38, 39), Europejską Agencję Środowiska (EAŚ) (22, 36) oraz Organizację Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) (26) nie pozostawiają wątpliwości, że dotychczasowe działania w tym zakresie były mało skuteczne i nie przyniosły oczekiwanych rezultatów. Dowody naukowe przedstawione w raporcie Status światowych zasobów glebowych (30) wskazują, że około 33% gleb na świecie jest średnio lub silnie zdegradowanych w wyniku erozji, zasolenia, zagęszczenia, zakwaszenia i zanieczyszczenia substancjami chemicznymi. Szacuje się, że w skali globalnej w wyniku erozji roczne straty pokrywy glebowej z gruntów ornych wynoszą 75 mld ton, co w przeliczeniu na utraconą produkcję rolniczą odpowiada około 400 mld USD (26). Przedstawione straty nie tylko wpływają na zmniejszenie produkcji, ale również negatywnie oddziałują na magazynowanie i obieg węgla, składników odżywczych dla roślin i wody w glebach. Raport ten (26) podkreśla także, że gleby użytkowane rolniczo są nadmiernie eksploatowane, degradowane i nieodwracalnie tracone w wyniku niewłaściwych praktyk gospodarowania gruntami, działalności przemysłowej oraz użytkowania gruntów. Dodatkowo do utraty części zasobów glebowych w Europie przyczyniają się szybko postępujące zmiany klimatyczne (30, 31).

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.2 pt. „Gleby użytkowane rolniczo” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

W 2015 r. Organizacja Narodów Zjednoczonych (ONZ) przyjęła rezolucję Zgromadzenia Ogólnego pn. „Przekształcamy nasz świat: Agenda na rzecz Zrównoważonego Rozwoju do 2030 r.” (34), której cele dotyczyły m.in. dążenia do osiągnięcia neutralności dla degradacji gruntów w skali globalnej i wdrożenia praktyk, które zminimalizują zanieczyszczenie gleby, stopniowo poprawiając jej jakość. Agendę podpisały 193 państwa członkowskie ONZ. W odpowiedzi na nią w 2017 r. FAO przedstawiła opracowanie pn. „Dobrowolne praktyki dotyczące zrównoważonej gospodarki glebami” (26). W opracowaniu tym wskazuje się między innymi, że gleba jest największym na świecie lądowym rezerwuarem węgla i zasobem dostarczającym 95% światowej żywności, dlatego zrównoważone gospodarowanie glebami to cenne narzędzie adaptacji do zmian klimatu oraz droga do ochrony różnorodności biologicznej i kluczowych usług ekosystemowych świadczonych przez gleby dla człowieka (34). W „Dobrowolnych praktykach dotyczących zrównoważonej gospodarki glebami” (34) zaznaczono, że przyjęcie i wdrożenie takich praktyk zagwarantuje wiele korzyści społeczno-ekonomicznych dla drobnych rolników i dużych producentów rolnych na całym świecie, dlatego w opracowaniu zaproponowano jedenaście wytycznych ważnych dla zrównoważonego zarządzania glebami, tj.:

1. Zminimalizowanie tempa erozji wodnej i wietrznej;
2. Niepogarszanie struktury gleby w wyniku zagęszczania, gwarantującej ruch powietrza i wody glebowej, wymianę cieplną oraz wzrost korzeni roślin;
3. Ochrona powierzchni gleby poprzez uprawę poplonów i/lub mulczowanie;
4. Tworzenie zapasu stabilnej materii organicznej w glebie, odpowiedniego dla warunków pedo-klimatycznych;
5. Zapewnienie właściwego poziomu i dostępności składników odżywczych, odpowiedniego do wzrostu roślin uprawnych lub/i poprawy żyzności gleby oraz zmniejszenie ich strat do środowiska;
6. Zminimalizowanie efektów zasolenia gleb, w tym sodyfikacji i alkalizacji;
7. Zwiększenie retencjonowania wody dostępnej dla roślin w glebach;
8. Utrzymanie w glebach zawartości substancji szkodliwych poniżej ich poziomów toksyczności dla roślin, zwierząt, ludzi i środowiska;
9. Zachowanie bioróżnorodności gleb zapewniającej pełen zakres funkcji biologicznych;
10. Wdrożenie zoptymalizowanych i przyjaznych dla środowiska systemów gospodarowania glebą w celu produkcji żywności, paszy, paliwa, drewna i włókna;
11. Zminimalizowanie zasklepienia gleb użytkowanych rolniczo dzięki odpowiedzialnemu planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennemu.

Wszyscy członkowie FAO, w tym państwa członkowskie UE i Komisja Europejska, poparli te wytyczne (34). Kolejnym wyzwaniem, przed którym stanęła UE było ich przełożenie na konkretne cele i działania oraz wprowadzenie realnych terminów ich realizacji.

Wraz z rozwojem inicjatyw w kierunku wdrożenia zrównoważonego gospodarowania glebami konieczne było podjęcie równoległych prac na rzecz ograniczenia zmian klimatu. Po konferencjach w 1972 r. (I konferencja ONZ w Sztokholmie pn. „Środowisko i Rozwój”), w 1992 r. (II konferencja ONZ w Rio de Janeiro na temat „Środowisko i Rozwój”) oraz w 2012 r. (Szczyt Ziemi Rio+20: pn. „Przyszłość jakiej chcemy”), w 2015 r. odbyła się konferencja klimatyczna w Paryżu, na której zostało przyjęte tzw. porozumienie paryskie zawierające ogólnosiwiatowy plan działania na rzecz ograniczenia globalnego ocieplenia (32). W treści porozumienia wskazano, że gleby rolnicze odgrywają znaczącą rolę jako pochłaniacze, ale też źródła węgla emitowanego do atmosfery (32). Porozumienie paryskie, podpisane przez 190 krajów, w tym Polskę, zobowiązało państwa członkowskie UE do osiągnięcia wiążącego celu zakładającego ograniczenie do roku 2030 emisji netto gazów cieplarnianych o co najmniej 55% w porównaniu z poziomem z roku 1990 (34). Efektem porozumienia paryskiego było m.in. uruchomienie inicjatywy „4 na 1000” pn. „Gleba dla bezpieczeństwa żywnościowego i klimatu”. Inicjatywa ta ma na celu wykazanie, że rolnictwo, a w szczególności gleby rolne mogą odgrywać kluczową rolę w zakresie bezpieczeństwa żywnościowego i zmiany klimatu oraz zawiera przekaz, że kraje członkowskie UE powinny zrewidować wdrożone modele rolnictwa i rozpocząć zarządzanie glebami w taki sposób, aby uzyskać wyższą skuteczność działań w zakresie ograniczenia zjawiska erozji, polepszenia odporności gleb na suszę i zwiększenia różnorodności biologicznej gleb w perspektywie długoterminowej. Kolejne ważne porozumienie dotyczące powstrzymania zmian klimatu zostało podpisane w 2018 r. w Katowicach (32). Pakiet katowicki zawiera szczegółowe zasady, procedury i wytyczne, które umożliwiają realizację zobowiązań zawartych w porozumieniu paryskim (32).

Inicjatywy podjęte przez UE przygotowały kraje członkowskie do wdrożenia szerszej polityki klimatyczno-energetycznej zakładającej przejście UE na gospodarkę neutralną klimatycznie i oznaczającej zasadnicze zmiany w dotychczasowym podejściu do gospodarowania glebami. Dlatego konieczne stało się opracowanie, na podstawie solidnych danych naukowych, pakietu strategii i innych inicjatyw, na przykład misji wyznaczających mierzalne cele z jasnym harmonogramem dla osiągnięcia tych celów (3). W marcu 2020 r. UE przedstawiła strategię pn. Europejski Zielony Ład (EZŁ) (9). Zawiera ona nowy plan działania i rozwoju, który wskazuje bardzo ambitne cele dla całej Europy, tj. osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 roku (9). Celem pracy jest przedstawienie wybranych nowych inicjatyw w ramach polityki klimatyczno-energetycznej przyjętych przez Unię Europejską, służących zrównoważonemu wykorzystaniu i ochronie gleb użytkowanych rolniczo.

Europejski Zielony Ład

Przyjęcie EZŁ (9) wiąże się z działaniami politycznymi podejmowanymi w zakresie wzajemnie uzupełniających się obszarów: klimatu, energii, rolnictwa, przemysłu, środowiska, transportu, finansów i rozwoju regionalnego oraz badań i innowacji

(rys. 1) (10, 20). Wszystkie wymienione inicjatywy są silnie powiązane nie tylko z EZŁ, ale też wzajemnie ze sobą. Do najważniejszych inicjatyw ogłoszonych przez UE w ramach polityki klimatyczno-energetycznej wspierających realizację EZŁ należą, m.in.:

- Europejskie prawo klimatyczne (33);
- Europejska strategia bioróżnorodności 2030 (11);
- Europejska strategia „od pola do stołu” (12);
- Strategia na rzecz niebieskiej gospodarki dla zrównoważonej przyszłości (16);
- Europejska strategia nowa ekonomia o obiegu zamkniętym (4);
- Plan działania na rzecz eliminacji zanieczyszczeń wody, powietrza i gleby (17);
- Strategia na rzecz zrównoważonej i inteligentnej mobilności (15);
- Europejska Strategia na rzecz „fali renowacji” (13);
- Europejska strategia leśna do 2030 r. (7);
- Strategia Europa 2020 (5).

Europejskie prawo klimatyczne (33), które weszło w życie z dniem 30 czerwca 2021 r. ma zagwarantować, że do realizacji wyznaczonego celu okresowego tj. redukcji emisji gazów cieplarnianych o 55% do 2030 r. w porównaniu z rokiem 1990, przyczynią się wszystkie obszary unijnej polityki oraz wszystkie sektory gospodarki i grupy społeczne. Europejskie prawo o klimacie przewiduje także ambitniejsze regulacje w zakresie sektora „Użytkowanie gruntów, zmiana użytkowania gruntów i leśnictwo” (LULUCF) związanego z gospodarowaniem glebą, drzewami, roślinami, biomasą i drewnem (6, 35). Szczególną cechą tego sektora jest nie tylko emitowanie gazów cieplarnianych do atmosfery, ale także efektywne pochłanianie CO₂. W ocenie Montanarelli i Panagosa (31) właściwe użytkowanie tych obszarów w dłuższej perspektywie przyczyni się w sposób istotny do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Obecnie państwa członkowskie UE w odniesieniu do zarządzanych gruntów uprawnych, użytków zielonych i terenów podmokłych zobowiązane są do prowadzenia rachunków rozliczeniowych odzwierciedlających emisję i pochłanianie dwutlenku węgla (6).

Wprowadzenie EZŁ (9) do polityki UE oznacza, że dotychczasowe rozwiązania prawne, jak na przykład strategia glebowa opublikowana w 2006 (2) zostaną poddane przeglądowi i, w razie potrzeby, będą zweryfikowane oraz dostosowane do zwiększonych europejskich ambicji związanych z celem neutralności klimatycznej. Należy podkreślić, że strategia EZŁ (9) zdecydowanie wykracza poza samo ograniczanie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Ogólna wizja przyszłej, neutralnej klimatycznie UE zarządzającej glebami w sposób zrównoważony, przedstawiona w EZŁ, ma odniesienie w innych strategiach, m.in. Europejskiej strategii bioróżnorodności 2030 (SRB) (11) stanowiącej zasadniczy element EZŁ, Europejskiej strategii „od pola do stołu” (PDS) (12), nowej Europejskiej strategii glebowej pn. „Czerpanie korzyści ze zdrowej gleby dla ludzi, żywności, przyrody i klimatu” (SZG) (8), które wpływają na obecny kształt Wspólnej Polityki Rolnej, zakresu misji pn. „Dbałość

o gleby to dbałość o życie” (37) realizowanej w ramach Horyzont Europa oraz wspólnych programów europejskich.



Rys. 1. Założenia transformacji gospodarki Unii Europejskiej z myślą o zrównoważonej przyszłości w ramach Europejskiego Zielonego Ładu

Źródło: opracowanie własne na podstawie COM/2019/640 (9)

Europejska strategia bioróżnorodności 2030

Degradacja gleby jest zjawiskiem powszechnym, występującym we wszystkich częściach świata (30), dlatego zapobieganie temu procesowi oraz przywracanie jakości gruntom zdegradowanym jest bardzo istotnym elementem, także w kontekście ochrony bioróżnorodności (25). Działania w tym kierunku chronią i wzmacniają usługi ekosystemowe gleb niezbędne dla utrzymania życia na Ziemi i zapewnienia dobrobytu ludziom (25). Pomimo działań w kierunku zapobiegania degradacji gleb i ochrony bioróżnorodności w wielu krajach UE obserwuje się nasilenie różnych nie-

korzystnych zjawisk, w tym postępujące zasklepienie gleb i nasilenie erozji wodnej powierzchniowej (30, 38, 39). Z raportów KE dotyczących monitorowania postępu zasklepienia gleb wynika, że nadal żyzne gleby są przeznaczane pod różnego rodzaju inwestycje (31). Na takich gruntach następuje bezpowrotna utrata bioróżnorodności i zdolności magazynowania węgla oraz wody (38). Utrata wierzchniej warstwy gleb spowodowana erozją wodną powierzchniową jest nadal na terenie UE jednym z największych zagrożeń dla funkcji gleb. Powoduje dewastację gruntów oraz niesie istotne koszty ekonomiczne dla obywateli Europy związane z usuwaniem warstwy namytej czy pogłębianiem rzek (22, 38, 39). Degradacja gleb w wyniku erozji wodnej to również utrata różnorodności biologicznej, od której zależy prawidłowe funkcjonowanie gleb (25). Dla ochrony bioróżnorodności, ale też zdrowia obywateli UE ważny jest stan zanieczyszczenia gleb substancjami toksycznymi pochodzącymi z przemysłu i rolnictwa. Wysokie stężenia zanieczyszczeń m.in. w glebach użytkowanych rolniczo są jedną z głównych przyczyn utraty różnorodności biologicznej, co powoduje zmniejszoną zdolność ekosystemów do świadczenia usług, takich jak na przykład dostarczanie czystej wody czy rozkład zanieczyszczeń (25, 36).

Biorąc pod uwagę przedstawione fakty, w maju 2020 r. UE przyjęła Unijną strategię bioróżnorodności do 2030 r. (ESB) pod nazwą „Przywracanie przyrody do naszego życia”. USB powstała na podstawie unijnej dyrektywy ptasiej, dyrektywy siedliskowej oraz sieci obszarów chronionych Natura 2000, znacznie rozszerzając ich zakres. Dokument ten wskazuje kompleksowy, ambitny, długoterminowy plan ochrony przyrody i odwrócenia procesu degradacji ekosystemów. ESB do 2030 r. zapowiada odnowę różnorodności biologicznej Europy z korzyścią dla ludzi, klimatu i planety, dlatego wskazuje konkretne działania i zobowiązania dla krajów członkowskich, które muszą być wypełnione do 2030 r. ESB zakłada realizację wielu celów, które bezpośrednio lub pośrednio dotyczą ochrony gleb użytkowanych rolniczo, w tym:

- ustanowienie obszarów chronionych na co najmniej 30% powierzchni lądowej i 30% powierzchni morskiej Europy,
- odtworzenie zdegradowanych ekosystemów na lądzie i na morzu poprzez wzrost produkcji w systemie rolnictwa ekologicznego i zwiększenie liczby elementów krajobrazu rolniczego przyjaznych przyrodzie;
- zmniejszenie zużycia i ryzyka związanego ze stosowaniem pestycydów o 50% do 2030 r. – zasadzenie 3 miliardów drzew.

ESB (11) stawia również inne cele, na przykład wprowadzenie żywoptót, drzew, stawów jako elementów krajobrazu oraz włączenie gleb odlogowanych z powrotem do gospodarstw rolnych w celu zwiększenia sekwestracji węgla. UE liczy, że na ochronę różnorodności biologicznej z różnych źródeł zostanie odblokowane około 20 mld Euro rocznie, w tym funduszy UE oraz funduszy krajowych i prywatnych, a także zapowiada, że zagadnienia dotyczące ochrony kapitału naturalnego i różnorodności biologicznej zostaną włączone na stałe do praktyk biznesowych (11). Dla wzmocnienia działań na rzecz ochrony bioróżnorodności, w maju 2021 r. Komisja Europejska przyjęła plan działania UE w zakresie zmniejszenia zanieczyszczenia powietrza,

wody i gleby pn. „Plan działania na rzecz zerowego zanieczyszczenia” (17). Wizja przedstawiona w tym planie przez UE to ograniczenie zanieczyszczenia środowiska do 2050 r., które ma polegać na zmniejszeniu poziomu substancji toksycznych m.in. w glebach do poziomów uważanych za nieszkodliwe dla zdrowia ludzi i prawidłowego funkcjonowania naturalnych ekosystemów (17).

Europejska strategia „od pola do stołu”

Istotna część EŁZ (9) odnosi się do rolnictwa i kwestii bezpieczeństwa żywnościowego. System rolno-spożywczy (agrobiznes) UE wspierany przez Wspólną Politykę Rolną (WPR) według KE powinien nadal stanowić światowy standard w zakresie bezpieczeństwa dostaw, żywienia i jakości produktów rolnych. System ten ma przynieść korzyści środowisku przyrodniczemu poprzez prowadzenie produkcji żywności z minimalnym wpływem na przyrodę, gwarantując wszystkim Europejczykom świeżą i bezpieczną żywność (12). Europejska strategia „od pola do stołu” (12) (SPS) ma zmienić obecny unijny system żywnościowy na model zrównoważony, tj.:

- zapewnić – w ramach możliwości planety – wystarczającą podaż niedrogiej i pełnowartościowej żywności;
- zmniejszyć wykorzystanie pestycydów i nawozów oraz sprzedaż środków antydebrakcyjnych co najmniej o 50%;
- zwiększyć powierzchnię gruntów przeznaczanych na rolnictwo ekologiczne co najmniej o 25%;
- propagować zrównoważoną konsumpcję żywności i zdrowe odżywianie;
- ograniczyć straty żywności i jej marnotrawienie;
- przeciwdziałać fałszowaniu żywności w łańcuchu dostaw;
- poprawić dobrostan zwierząt hodowlanych.

Jak podają Montanarella i Panagos (31), SPS będzie miała na celu rozwiązywanie powyższych problemów i wdrażanie skutecznego systemu monitorowania realizacji wyznaczonych celów. Ważne dla jej efektywnej implementacji będzie zbudowanie w UE skutecznego systemu monitorowania, raportowania i weryfikacji (MRV), który jest niezbędny do rozliczania zasobów węgla w glebach rolniczych do celów łagodzenia zmiany klimatu (6). System MRV ma zawierać pięć elementów, tj.:

- lokalizacje wzorcowe wykorzystujące doświadczenia wieloletnie na obszarze Europy;
- narzędzia teledetekcji oparte na najnowszych platformach satelitarnych, na przykład program UE Copernicus (18);
- obserwacje i pomiary naziemne, jak w systemie monitoringu gleby LUCAS (29);
- krajowe i regionalne badania gleby pod kątem zawartości węgla w glebach;
- zaawansowane modelowanie i analizę scenariuszy, w tym gromadzenie danych przestrzennych do przyszłych prognoz i ocen.

Europejski zintegrowany system monitorowania właściwości gleb – MRV (6) będzie miał za zadanie pogłębianie wiedzy na temat właściwości gleb oraz przyczyni się do wyboru wskaźników oceny żywności/zdrowia gleb na potrzeby analizy efektywności wdrażania nowej Wspólnej Polityki Rolnej. Do wskaźników oceny efektywności środowiskowej WPR (31) można zaliczyć na przykład intensywność i ograniczanie erozji wodnej powierzchniowej gleb oraz sekwestrację i rozkład węgla w glebie.

Aby osiągnąć jeden z celów Europejskiego Zielonego Ładu, konieczne jest wdrożenie środków służących zachowaniu jakości gleby i włączenie spójnych, zrównoważonych ram gospodarowania glebą. Wprowadzenie innowacyjnych praktyk rolniczych wraz z nową technologią to wyzwanie w ramach programu ramowego Horyzont Europa, w którym ponad 35% wydatków ma przyczynić się do realizacji celów klimatycznych. Program ten daje także dodatkowe możliwości pogłębiania wiedzy naukowej na temat zdrowia gleby dzięki wdrażaniu nowych narzędzi i metodyk, m.in. w zakresie badań właściwości biologicznych gleb, na przykład sekwencjonowanie DNA i RNA (31). Ważne z punktu widzenia utrzymania wysokiej jakości gleb będzie ponowne przeanalizowanie i rozpoznanie nowych procesów degradujących gleby rolnicze w UE (36), oprócz wskazanych wcześniej głównych zagrożeń dla gleb rolniczych, tj. erozji, zanieczyszczenia, zagęszczenia, zasklepiania oraz utraty materii organicznej gleby i różnorodności biologicznej (38, 39). Program Horyzont Europa oraz inne programy europejskie, jak na przykład Wspólny Europejski Program Gleba (36) powinny dostarczyć innowacyjnych rozwiązań do pełnego wdrożenia europejskiego zintegrowanego systemu monitorowania, raportowania i weryfikacji danych o glebach wraz ze wskaźnikami oceny ich jakości i usług ekosystemowych (36).

Europejska strategia glebowa do 2030 r.

Europejska Agencja Środowiska przedstawiła opinię, iż na obszarze UE wciąż jest brak kompleksowych i spójnych ram polityki ochrony gleb (36). Ponadto europejska strategia tematyczna w dziedzinie ochrony gleby z 2006 r. (2) uległa dezaktualizacji, ponieważ nie jest ona dostosowana do obecnego kontekstu politycznego UE i posiadanej wiedzy naukowej opartej na faktach (31). EAŚ podkreśla, że jeżeli nie zostaną podjęte żadne działania dotyczące ochrony gleb, istnieje duże ryzyko, że UE nie wypełni celów Europejskiego Zielonego Ładu i celów zrównoważonego rozwoju ONZ, tj. nie osiągnie planowanych celów neutralności klimatycznej oraz neutralności degradacji gleb. EAŚ wskazała, że potrzebna jest nowa strategia dotycząca gleb, ponieważ dane naukowe dowodzą, że zasoby węgla organicznego w wierzchnich warstwach gleb uprawnych maleją, zasięg terenów podmokłych i torfowiskowych w UE stale się zmniejsza, przy czym około połowa torfowisk w UE jest obecnie osuszona, a dwie trzecie europejskich terenów podmokłych zostało bezpowrotnie utraconych od początku XX wieku (22, 25). W UE znajduje się wiele terenów potencjalnie zanieczyszczonych w wyniku działalności przemysłowej, ale również produkcji rolniczej, która przyczynia się do zanieczyszczenia gleb m.in. pe-

stycydami, antybiotykami, azotem oraz drobinami plastiku (31). Zajmowanie gruntów pod inwestycje i zasklepienie gleb to problem wielu krajów europejskich, w których rozwój infrastruktury nadal odbywa się głównie kosztem gruntów rolnych (38, 39). W wielu krajach Europy gleby wykazują wysokie lub bardzo wysokie ryzyko pustynnienia lub są zasolone, co ogranicza produkcję rolniczą (8). Na podstawie przedstawionych faktów została opracowana nowa Europejska strategia glebowa (ESG) (8), która ukazała się w dniu 17 listopada 2021 r. pod nazwą „Czerpanie korzyści ze zdrowej gleby przez ludzi, żywność, przyrodę i klimat”.

ESG stanowi uzupełnienie Europejskiej strategii na rzecz bioróżnorodności do 2030 r. (11) i jest niezbędnym elementem pozwalającym osiągnąć cele EZŁ (9). W dokumencie tym podkreślony został fakt, że UE nie posiada wdrożonych ram ochrony gleb, inaczej jak ma to miejsce w przypadku wody i powietrza, a rozwój wiedzy na temat gleb i ich wpływu na zmiany klimatu wskazuje, że dbałość o zdrowe gleby jest potrzebna jak nigdy dotąd. Nowa ESG wyznacza następujące cele średnio-terminowe do 2030 r.:

1. Zwalczanie pustynnienia, przywracanie do użytkowania zdegradowanych gruntów i gleb, w tym gruntów dotkniętych pustynnieniem, suszami i powodzią, oraz dążenie do osiągnięcia świata neutralnego pod względem degradacji gruntów;
2. Odnowienie znacznych obszarów ekosystemów bogatych w węgiel, w tym gleb;
3. Osiągnięcie redukcji gazów cieplarnianych netto w UE na poziomie 310 milionów ton ekwiwalentu CO₂ rocznie w sektorze LULUCF (6, 35);
4. Osiągnięcie dobrego stanu ekologicznego i chemicznego wód powierzchniowych oraz dobrego stanu chemicznego i ilościowego wód podziemnych do 2027 r.;
5. Zmniejszenie strat składników odżywczych o co najmniej 50%, ogólnego stosowania i ryzyka oddziaływania pestycydów chemicznych o 50% oraz stosowania bardziej niebezpiecznych pestycydów o 50% do roku 2030 r.;
6. Poczynienie znacznych postępów w rekultywacji terenów zanieczyszczonych.

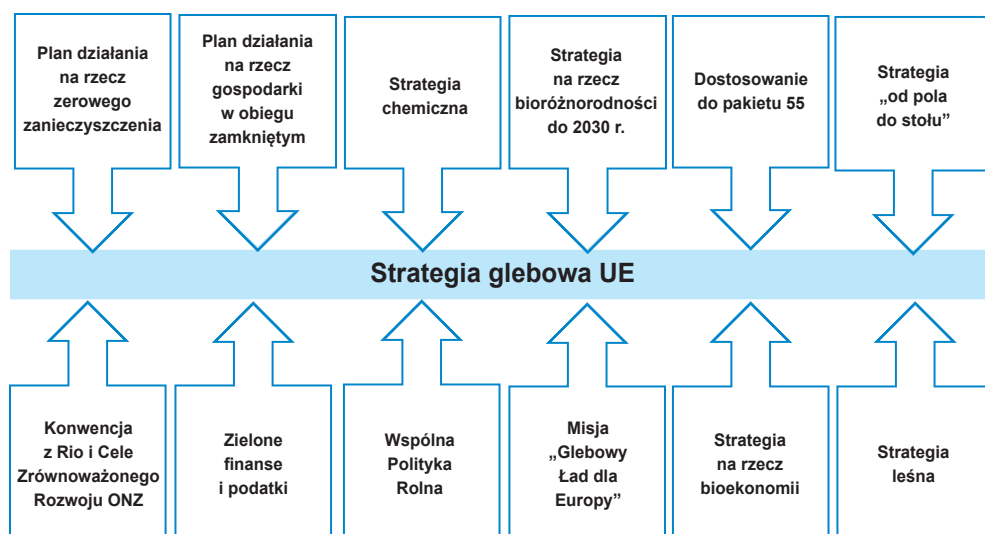
Cele długoterminowe Unijnej strategii glebowej to:

1. Osiągnięcie stanu zerowego zajmowania gruntów netto (na przykład pod rozwój aglomeracji miejskich);
2. Redukcja zanieczyszczeń w glebach do poziomu uznawanego za nieszkodliwe dla zdrowia ludzkiego i naturalnych ekosystemów, tworząc w ten sposób środowisko wolne od toksyn;
3. Osiągnięcie neutralności klimatycznej UE i w pierwszym kroku dążenie do osiągnięcia neutralności klimatycznej na lądzie do 2035 r.;
4. Przygotowanie społeczeństwa odpornego na zmianę klimatu, w pełni przystosowanego do nieuniknionych skutków zmian klimatu do 2050 r.

W ESG (8) zostało wprowadzone pojęcie zdrowych gleb, które wykazują dobre właściwości chemiczne, fizyczne i biologiczne, świadcząc różne usługi ekosystemowe. EGS zapowiada również pojawienie się nowego prawa UE, tj. Prawa Odnowy Przyrody zapewniającego przywrócenie ekosystemów do dobrego stanu do 2050 r.

oraz Prawa Zdrowe Gleby obejmującego, uzgodnione z krajami członkowskimi, wskaźniki takiego stanu.

Ponadto w ESG (8) znajdują się zagadnienia odnoszące się do ochrony i poprawy różnorodności biologicznej gleb oraz przeciwdziałania zanieczyszczeniu pochodzącemu ze źródeł rozproszonych. Zwiększono także uwagę na rosnące zagrożenie pustynnieniem. ESG konsoliduje, uzupełnia i steruje działaniami w różnych obszarach polityki, a także obejmuje wszystkie kluczowe aspekty horyzontalne, od instrumentów finansowania po rozwój wiedzy, badania, komunikację i współpracę międzynarodową, co ma odbywać się w ścisłej koordynacji i komplementarności z innymi inicjatywami UE (rys. 2).



Rys. 2. Połączenia między Unijną strategią glebową i innymi inicjatywami klimatyczno-gospodarczymi Unii Europejskiej

Źródło: opracowanie własne na podstawie COM(2021)699 (8)

Ważniejsze inicjatywy o zasięgu europejskim, które zapowiada ESG to:

- odnowa zmeliorowanych gleb organicznych, włączenie się UE do oceny stanu torfowisk w świetle koordynowanej przez FAO Światowej Inicjatywy Torfowiskowej;
- włączenie się UE do międzynarodowej inicjatywy „4 przez 1000” w celu zwiększenia zawartości węgla w glebach użytkowanych rolniczo;
- przedłożenie wniosku ustawodawczego w sprawie certyfikacji usuwania dwutlenku węgla z atmosfery;
- zbadanie możliwości ponownego wykorzystania gleb po zakończonej remediacji i opracowanie podstaw prawnych do wprowadzenia „paszportu wykopanej gleby” związanego z jej obrotem i ponownym wykorzystaniem na terenie UE;

- utworzenie Światowego Obserwatorium Bioróżnorodności Gleby;
- wdrożenie przez państwa członkowskie UE inicjatywy „zbadaj swoją glebę za darmo” – utworzenie koalicji UE dla zdrowych gleb.

Ważne z punktu widzenia zachowania zdrowia gleb na obszarze UE jest opracowanie/wybór wskaźników do ich opisu oraz wykonywanie analiz przestrzennych i prezentowanie wyników tych analiz w postaci map pozwalających na oceny poczynionych postępów we wdrażaniu nowej ESG. Zadania te ma realizować powołane w grudniu 2020 r. Europejskie Obserwatorium Gleby (EUSO), które usprawni i skonsoliduje prace państw członkowskich UE w zakresie monitorowania gleby i opracowywania oraz wdrażania wskaźników ich oceny. ESG również zapowiada przygotowania i wprowadzenie spójnego systemu MRV połączonego z krajowymi działaniami państw członkowskich dotyczącymi wdrażania EZŁ i Unijnej Strategii Glebowej. System MRV będzie współpracował ze Zintegrowanym Systemem Zarządzania i Kontroli (IACS), Inicjatywą Wspólnego Programu w zakresie Gospodarki Glebami Rolnymi, bieżącymi działaniami Europejskiej Agencji Środowiska i agencji ONZ, w tym Światowym i Europejskim Partnerstwem Glebowym. Planowany system znacznie rozszerzy działanie obecnego Europejskiego Centrum Danych o Glebie (ESDAC), wprowadzając m.in. nowe wskaźniki oceny zdrowia gleby odzwierciedlające różne czynniki istotne dla służb Komisji Europejskiej związanych z glebami, takich jak: DG ENV, DG CLIMA, DG AGRI, DG SANTE i inne. Jednym z priorytetów EUSO będzie dostarczanie regularnych sprawozdań na temat degradacji i rekultywacji gruntów na potrzeby kontroli osiągnięcia przez UE neutralności degradacji gleby. EUSO będzie też wspierać niezbędnymi danymi Europejski Zielony Ład, w szczególności Unijną strategię bioróżnorodności 2030 (11) oraz Europejskie Prawo Klimatyczne (33), zapewniając regularne monitorowanie zawartości/zasobów węgla organicznego w glebie i obszarów torfowiskowych w celu osiągnięcia zerowej emisji gazów cieplarnianych netto do 2050 r.

Misja „Troska o glebę to troska o życie”

Gleby użytkowane rolniczo stanowią podstawę do produkcji 95% naszej żywności i realizacji innych podstawowych usług ekosystemowych, takich jak czysta woda, bioróżnorodność i regulacja klimatu (37). Jednak z raportu EAS (22) wynika, że 60–70% gleb w UE uważa się za „niezdrowe”, co sprawia, że UE może mieć problem z produkcją wystarczającej ilości żywności o wysokich walorach odżywczych. Około 70% gruntów rolnych w UE wykazuje nadmierne poziomy składników odżywczych dla roślin uprawnych, co ma negatywny wpływ na jakość wody i bioróżnorodność. Ponadto około 25% gruntów w Europie Południowej, Środkowej i Wschodniej jest obarczonych wysokim lub bardzo wysokim ryzykiem pustynnienia. Szacuje się, że koszty związane z degradacją gleb w UE przekraczają 50 mld EUR rocznie (37).

Misje to nowatorska inicjatywa stanowiąca skoordynowane działania mające sprostać najważniejszym wyzwaniom społecznym UE, tj. walka z rakiem, adaptacja do zmian klimatu obejmująca społeczną transformację, zachowanie zdrowych oceanów, mórz, wód przybrzeżnych i śródlądowych, neutralnych klimatycznie i inteligentnych miast, zdrowej gleby i żywności. Ambicją misji „Troska o glebę to troska o życie” (37) jest dostarczenie narzędzi, które pomogą: zwiększyć świadomość na temat znaczenia gleb, współpracować z obywatelami, tworzyć wiedzę i opracowywać rozwiązania w celu przywrócenia zdrowia gleby i jej funkcji. Nowa wiedza i innowacyjne rozwiązania mają przyczynić się do zwiększenia skali podejść agroekologicznych w podstawowej produkcji rolniczej poprzez utworzenie specjalnego partnerstwa, tzw. żywych laboratoriów i latarni morskich, w których ma odbywać się demonstracja dobrych praktyk zarządzania glebą w rzeczywistych warunkach (37). Misja wskazuje na utworzenie sieci 100 żywych laboratoriów i latarni morskich, które pomogą wskazywać, co oznaczają zdrowe gleby, współtworzyć wiedzę, testować rozwiązania i demonstrować ich wartość w rzeczywistych warunkach. Misja „Troska o glebę to troska o życie” (37) będzie współpracować z różnymi grupami odbiorców i tworzyć skuteczne partnerstwa w różnych skalach, tj.: sektorów, regionów czy państw, aby chronić glebę w Europie i poza nią. Takie podejście ma się przyczynić do ograniczenia stosowania pestycydów, nawozów sztucznych i środków przeciwdrobnoustrojowych. Aby przyspieszyć innowacje i transfer wiedzy, KE będzie dążyć do wzmocnienia roli europejskiego partnerstwa innowacyjnego na rzecz wydajnego i zrównoważonego rolnictwa (EIP-AGRI), a w kontekście WPR będzie kontynuować upowszechnianie w państwach członkowskich skutecznych rozwiązań w zakresie zrównoważonego zarządzania glebą i składnikami pokarmowymi. Celami, do których dąży misja jest osiągnięcie stanu, w którym co najmniej 75% wszystkich gleb będzie zdrowych, będących w stanie zapewnić niezbędne usługi ekosystemowe w zakresie zdrowej żywności, ludzi, przyrody i klimatu, a także demonstracja dobrych praktyk zarządzania glebą przy użyciu żywych laboratoriów i latarni morskich oraz poprawienie monitorowania stanu gleby. Misja przyczyni się do realizacji celów Europejskiego Zielonego Ładu związanych ze zrównoważonym rolnictwem, odpornością na zmianę klimatu, różnorodnością biologiczną i zerowym zanieczyszczeniem gleb.

Wspólna Polityka Rolna po 2020 r.

Jednym z głównych narzędzi wykorzystywanych przez UE w celu ochrony gleb użytkowanych rolniczo jest Wspólna Polityka Rolna, która ma potencjał, aby zapewnić lepsze standardy gospodarowania glebą, wymagając od rolników stosowania dobrych praktyk rolniczych w zamian za uzyskane dopłaty obszarowe. W WPR wspierana jest dywersyfikacja upraw, utrzymywanie trwałych użytków zielonych i przeznaczenie 5% gruntów ornych na obszary proekologiczne, takie jak drzewa, żywopłoty lub grunty odłogowane. Oprócz tych wymogów część płatności bezpośrednich dostępnych dla rolników jest uwarunkowana zastosowaniem „środków zazieleniania”. Ponadto

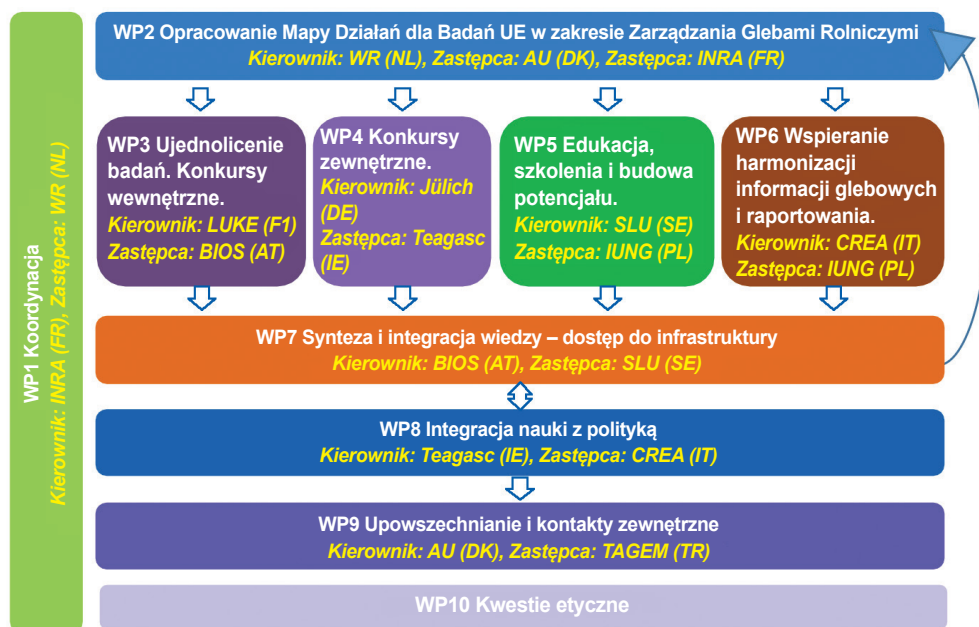
w ramach pierwszego filaru WPR rolnicy zobowiązani są do wdrażania norm Dobrej kultury rolnej zgodnej z ochroną środowiska (normy GAEC) (27). Normy te mają na celu spowodowanie działań rolników przyczyniających się do gromadzenia materii organicznej w glebie, zwiększania bioróżnorodności gleby, ograniczania erozji gleby i ochrony zasobów wodnych. Nowa WPR po 2020 r. wpisująca się w cele EZŁ (9) oraz wspomagająca realizację Unijnej strategii bioróżnorodności (12) i Unijnej strategii „od pola do stołu” (11) zapowiada bardziej ambitnie działania na rzecz środowiska i klimatu. Wzmocnione zostaną obowiązkowe wymogi, które muszą przestrzegać rolnicy, obejmujące:

- zachowanie gleb bogatych w węgiel poprzez ochronę terenów podmokłych i torfowisk;
- zarządzanie składnikami odżywczymi w celu poprawy jakości wody i zmniejszenia poziomu emisji amoniaku i podtlenku azotu;
- stosowanie płodozmianu zamiast dywersyfikacji upraw.

Rolnicy mają też być nagradzani za stosowanie lepszych praktyk, wykraczających poza obowiązkowe wymagania. W tym celu każdy kraj członkowski jest zobowiązany do opracowania własnego systemu ekoprogramów/ekoschematów i działań rolno-środowiskowo-klimatycznych, aby zachęcić rolników do praktyk, które są dostosowane do lokalnego kontekstu każdego kraju. W nowej WPR cyfryzacja i rolnictwo precyzyjne są wskazywane jako ważne narzędzie optymalizacji żyzności gleby oraz zmniejszenia zanieczyszczenia gleb i wód poprzez stosowanie ilości nawozów dostosowanej do rzeczywistych potrzeb roślin uprawnych.

Wspólny Europejski Program Gleba

Wymagania Unii Europejskiej, aby polityczne działania w zakresie środowiska i klimatu były oparte na wiarygodnych danych naukowych realizowanych na terenie całej Wspólnoty oraz potrzeba uzyskania wiarygodnych danych o glebach, ich harmonizacji oraz raportowania dla potrzeb EUSO doprowadziły do ogłoszenia konkursu w ramach Wspólnych inicjatyw programowych UE. Tematyka jednego z projektów finansowanych w ramach takiego konkursu dotyczy działań w kierunku przyjaznego dla klimatu zarządzania glebami rolniczymi (ang. *Towards climate-smart sustainable management of agricultural soils*, grant nr 8626295). Program o akronimie EJP SOIL jest finansowany przez Komisję Europejską oraz instytucje odpowiedzialne za gospodarowanie glebami i posiadające dane o właściwościach gleb. W przypadku Polski, w programie EJP SOIL właścicielem programu i instytucją współfinansującą jego realizację jest Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, a wykonawcą zadań w programie (ang. *Program Manager*) – Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach. Program EJP SOIL składa się z dziewięciu pakietów roboczych (rys. 3), których działanie wpisuje się w treść strategii UE zawierających problematykę zrównoważonego gospodarowania glebami rolniczymi.



Rys. 3. Schemat roboczy programu EJP SOIL, grant 862695

Źródło: opracowanie M. Wydra

Program EJP SOIL realizuje 26 instytucji badawczych z 23 krajów europejskich. Zespół ten wykonuje zadania, które mają doprowadzić do:

- opracowania mapy działań wspierającej podejmowanie strategicznych decyzji w kwestiach naukowych, politycznych i wdrożeniowych przez interesariuszy w całej Europie, w tym określenie aspiracji na poziomie regionalnym, krajowym i europejskim, wykonanie przeglądu aktualnej sytuacji dostępności i wykorzystania wiedzy na temat gospodarowania glebami rolniczymi oraz syntezy kluczowych zagadnień związanych z glebą (WP2);
- finansowania i monitorowania realizacji wewnętrznych i zewnętrznych międzynarodowych projektów badawczych otwartych dla partnerów EJP SOIL i powiązanych z nimi stron trzecich (WP3) oraz partnerów niepowiązanych z EJP SOIL (WP4), aby wypełniać luki w badaniach na temat m.in. usług ekosystemowych gleb, bilansowania strat węgla w glebach, wykorzystania metod skreningowych i zdjęć satelitarnych do analiz właściwości gleb;
- wzmocnienia stanu wiedzy i budowania potencjału początkujących i uznanych naukowców pracujących w tematyce z zakresu gleb rolniczych w całej Europie oraz zapewnienie ścieżki dalszego rozwoju naukowcom będącym na wczesnym etapie kariery poprzez, m.in. prowadzenie studiów doktoranckich oraz wspieranie wymiany naukowców (WP5);

- opracowania uzgodnionej bazy danych o właściwościach gleb w celu poprawy europejskiego wkładu w międzynarodową sprawozdawczość dotyczącą gleb oraz europejskiej polityki rolnej. W ramach tego obszaru zadaniowego (WP6) zostaną wyznaczone m.in. wartości docelowe dla zawartości SOC w glebach użytkowanych rolniczo oraz stopnie degradacji gleb rolniczych i wskaźniki ich zdrowia. W zakresie obszaru zadaniowego 6 będą przedstawione metody opracowania map zawartości węgla w glebach rolniczych oraz wskazane wartości wskaźników ich żyzności i degradacji, a także sprawozdawczości do EUSO z uwzględnieniem dyrektywy INSPIRE (19);
- dokonania syntezy działań badawczych dla naukowców i decydentów politycznych, w szczególności w odniesieniu do opracowania ram przyjaznego dla klimatu zrównoważonego zarządzania glebami w rolnictwie. Wynikiem realizacji obszaru zadaniowego będzie opracowanie stron internetowych dedykowanych zarządzaniu glebami rolniczymi dla wykorzystania w przyszłości i zaprojektowanie materiałów służących do budowania potencjału rolników i doradców w celu wdrożenia na większą skalę inteligentnego klimatycznie i zrównoważonego zarządzania glebami rolniczymi. W obszarze zadaniowym jest położony nacisk na nawiązanie otwartego dialogu i aktywnego zaangażowania w relacji z decydentami, zrozumienie i analiza potrzeb decydentów w zakresie nowych badań i interpretacji danych, wspieranie decydentów we wdrażaniu przepisów dotyczących sekwestracji C i świadczenia usług ekosystemowych przez gleby rolnicze w UE oraz przekładanie otrzymanych wyników na zalecenia ekspertów w zakresie polityki, a także upowszechnianie i promowanie prac i wyników EJP SOIL wśród decydentów unijnych i międzynarodowych (WP8);
- wspierania i ułatwiania komunikacji, upowszechniania i wykorzystania programu pośród europejskich i krajowych grup docelowych, w tym interesariuszy (rolników, organizacji rolniczych, przemysłu, decydentów) oraz wspierania komunikacji, upowszechniania i wykorzystywania bardziej szczegółowych rezultatów naukowych, będących częściowo efektem działania konsorcjum EJP SOIL i projektów finansowanych w ramach EJP SOIL (WP9).

Podsumowanie

Gleby stanowią jeden z najważniejszych elementów środowiska przyrodniczego, gwarantują społeczeństwom m.in. bezpieczeństwo żywnościowe oraz dostarczają niezbędne usługi ekosystemowe. Ochrona gleb i przywracanie im wysokiej jakości stały się jednymi z celów nowej polityki Unii Europejskiej przedstawionych w Europejskim Zielonym Ładzie, który zawiera holistyczne ujęcie zagadnień klimatyczno-gospodarczych. Ochrona różnorodności biologicznej, produkcja żywności cechującej się wysoką jakością, ograniczenie stosowania pestycydów, dbałość o jakość gleb, remediacja gleb zanieczyszczonych, zwiększona sekwestracja węgla w glebach, ochrona obszarów mokradłowych, w tym głównie torfowisk, to tylko

niektóre zagadnienia wymienione do realizacji do 2050 r. Społeczeństwo europejskie czeka bardzo wiele wyzwań związanych z wdrażaniem ambitnej polityki UE.

Warto podkreślić, że zagadnienia dotyczące zrównoważonego wykorzystania gleb i ich ochrony zostały ujęte w sposób kompleksowy i potraktowane na równi z ochroną powietrza i wody. Jednak przyjęte prawo nasuwa wiele pytań co do jego pozytywnej realizacji. Z opisów zawartych w strategiach wynika, że wyznaczone cele dotyczą powierzchniowej warstwy gleby, natomiast na wiele procesów glebowych zachodzących w poziomie próchnicznym wpływają właściwości poziomów położonych głębiej w profilu glebowym, których planowane monitoringi, raportowanie i weryfikacja nie uwzględniają. Dane przedstawiane w raportach na temat skali degradacji gleb w Europie budzą wątpliwości, czy w ogóle uda się do 2050 r. osiągnąć wyznaczone cele. Na przykład remediacja gleb zanieczyszczonych hydrofobowymi związkami organicznymi może trwać wiele dekad ze względu na ich oddziaływanie z materią organiczną, a zwiększanie zawartości materii organicznej w glebach może dodatkowo spowalniać te procesy. Wprowadzenie niektórych praktyk uprawowych zapobiegających erozji gleb przy dużym rozdrobnieniu gruntów i z uwzględnieniem uwarunkowań historycznych może nie zagwarantować zadowalających efektów przeciwdziałania tym zjawiskom. Ograniczenie zużycia środków ochrony roślin oraz nawozów mineralnych może wzbudzić sprzeciw przemysłu chemicznego ukierunkowanego na korzyści ekonomiczne.

Bez względu na wątpliwości, które nasuwają niektóre rozwiązania i mierniki realizacji celów wdrażania Europejskiego Zielonego Ładu, we wdrażaniu tej polityki godny podkreślenia jest duży nacisk na upowszechnianie wiedzy o glebach, wprowadzanie innowacyjnych rozwiązań, których wyniki można zobaczyć w warunkach polowych, możliwość bezpłatnego badania właściwości gleb oraz ścisłej współpracy wszystkich środowisk odpowiedzialnych za zdrowie gleb.

Literatura

1. COM(2021) 82 European Commission 24/02/2021 Forging a climate-resilient Europe – the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change.
2. COM(2006)231 final. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Thematic Strategy for Soil Protection.
3. COM(2011)571 final. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Roadmap to a Resource Efficient Europe.
4. COM(2020)98 final. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions A new circular economy. Action Plan For a cleaner and more competitive Europe.
5. COM(2021)350 final Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Updating the 2020 New Industrial Strategy: Building a stronger Single Market for Europe's recovery.
6. COM(2021)554 final Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council amending Regulations (EU) 2018/841 as regards the scope, simplifying the compliance rules, setting out the targets of the Member States for 2030 and committing to the collective achievement of climate neutrality by 2035 in the land use, forestry and agriculture sector, and (EU) 2018/1999 as regards improvement in monitoring, reporting, tracking of progress and review.

7. COM(2021)572 final. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. New EU Forest Strategy for 2030.
8. COM(2021)699 final. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Soil Strategy for 2030 Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate.
9. COM/2019/640 final, Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The European Green Deal.
10. COM/2020/21 final. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Sustainable Europe Investment Plan European Green Deal Investment Plan.
11. COM/2020/380 final. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. EU Biodiversity Strategy for 2030 Bringing nature back into our lives.
12. COM/2020/381 final. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system.
13. COM/2020/662 final. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Renovation Wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives.
14. COM/2020/667 final. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Chemicals Strategy for Sustainability Towards a Toxic-Free Environment.
15. COM/2020/789 final. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future.
16. COM/2021/240 final. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. On a new approach for a sustainable blue economy in the EU Transforming the EU's Blue Economy for a Sustainable Future.
17. COM/2021/400 final Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Pathway to a Healthy Planet for All EU Action Plan: 'Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil'.
18. Copernicus Land Monitoring Service (CLMS). <https://land.copernicus.eu/>
19. DIRECTIVE 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE).
20. DIRECTIVE 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions (integrated pollution prevention and control).
21. European Commission. Technical guidance handbook: Setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU. 2021 www.4p1000.org
22. European Environmental Agency. The European Environment: State and Outlook. 2020.
23. European Joint Programme SOIL - Towards climate-smart sustainable management of agricultural soils grant No <https://ejpsoil.eu/>
24. Fit for 55 The EU's plan for a green transition <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/eu-plan-for-a-green-transition/>
25. Food and Agriculture Organization. State of knowledge of soil biodiversity – Status, challenges and potentialities. 2020.
26. Food and Agriculture Organization. Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy, 2017.
27. Good Agricultural and Environmental Practices (GAEC) under CAP; https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/income-support/cross-compliance_en#gacc.

28. International Energy Agency, Energy technology perspectives 2020. Report. 2020 <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>.
29. LUCAS Land Use and Coverage Area frame Survey- Joint Research Centre, European Soil Data Centre (ESDAC). https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=LUCAS_-_Land_use_and_land_cover_survey.
30. Montanarella L., Badraoui M., Chude V., Dos Santos Baptista Costa I., Mamo T., Yemefack M., Singh Aulang M., Yagi K., Young Hong S., et al.: Status of the World's Soil Resources. Main report 2015 Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy, pp. 650.
31. Montanarella L., Panagos P.: The relevance of sustainable soil management within the European Green Deal Land Use Policy. Land Use Policy 100 (2021) 104950, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104950>.
32. Porozumienie paryskie 2015. https://ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_pl
33. Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law') PE/27/2021/REV/1 <http://data.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj>.
34. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015, General Assembly, United Nations A/RES/70/1.
35. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/841 w sprawie włączenia emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych w wyniku działalności związanej z użytkowaniem gruntów, zmianą użytkowania gruntów i leśnictwem do ram polityki klimatyczno- energetycznej do roku 2030 i zmieniające rozporządzenie (UE) nr 525/2013 oraz decyzję nr 529/2013/UE.
36. Sauer N., Vossen B., Grüning J., Mensen A., Bauer M., Tripolszky S.: Soil: worth standing your ground for. Arguments for the Soil Framework Directive. European Environmental Bureau, 2010, pp. 16. www.eeb.org
37. Soil Health and Food Mission Board, Mission "Caring for Soil is Caring for Life" September 2020, 978-92-76-21602-5.
38. Stolte J., Tesfai M., Øygarden I., Kværnø S., Keizer J., Verheijen F., Panagos P., Ballabio C., Hessel R.: Soil threats in Europe: status, methods, drivers and effects on ecosystem services; EUR 27607 EN; 2015, pp. 207. <https://eeb.org/work-areas/nature-agriculture/soil/>.
39. Toth G., Montanarella L., Rusco E.: Threats to Soil Quality in Europe. EUR 23438 EN. Luxembourg (Luxembourg): OPOCE; 2008, JRC46574, pp. 157.

Adres do korespondencji:

dr hab. Bożena Smreczak
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 4786918
e-mail: Bożena.Smreczak@iung.pulawy.pl

AUTOR

Bożena Smreczak
Aleksandra Ukalska-Jaruga

ORCID

0000-0001-8972-8636
0000-0002-9253-2383

**Grzegorz Siebielec, Sylwia Siebielec, Radosław Kaczyński, Dominika Gmur,
Piotr Koza**

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

EGZOGENNA MATERIA ORGANICZNA JAKO ELEMENT EUROPEJSKIEGO ZIELONEGO ŁADU*

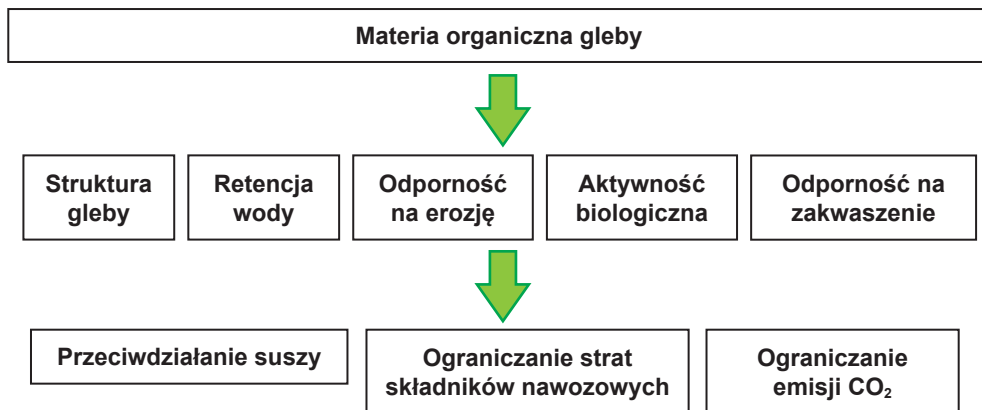
Słowa kluczowe: bionawozy, poferment, kompost, obornik, osad ściekowy, gleba

Rola materii organicznej w glebie

Materia organiczna gleb (SOM) jest podstawowym wskaźnikiem jakości gleb. Pełni ważną rolę w utrzymaniu najistotniejszych fizycznych, chemicznych i mikrobiologicznych cech gleby, decydujących o jej produkcyjnym potencjale oraz zdolności do pełnienia funkcji środowiskowych. SOM ma wpływ na potencjał sorpcyjny gleby, regulując obieg pierwiastków w biosferze i tempo ich wymywania z gleby, oraz na potencjał buforowy gleby odpowiedzialny za utrzymywanie właściwego pH. Wysoka zawartość materii organicznej w glebie jest czynnikiem stabilizującym jej strukturę, zmniejszającym podatność na zagęszczenie oraz degradację w wyniku erozji wodnej i wietrznej. Materia organiczna gleby odgrywa ważną rolę w obiegu wody, kształtując odporność upraw na niekorzystne warunki wodne związane zarówno z czasowym niedoborem, jak i nadmiarem wody w glebie. Rola materii organicznej w przeciwdziałaniu suszy jest związana z jej właściwościami retencyjnymi w stosunku do wody oraz kształtowaniem właściwej struktury gleby, sprzyjającej zatrzymywaniu większych ilości wody w glebie. Większa odporność gleb o wysokiej zawartości materii organicznej na zagęszczenie, zależna od materii organicznej gleby, ogranicza straty wody deszczowej poprzez spływ po powierzchni gleby (28). Materia organiczna gleby ma również podstawowe znaczenie dla kształtowania bioróżnorodności gleb i całego krajobrazu, która przekłada się na stabilność ekosystemów i ich odporność na

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.0 pt. „Ochrona gleb użytkowanych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

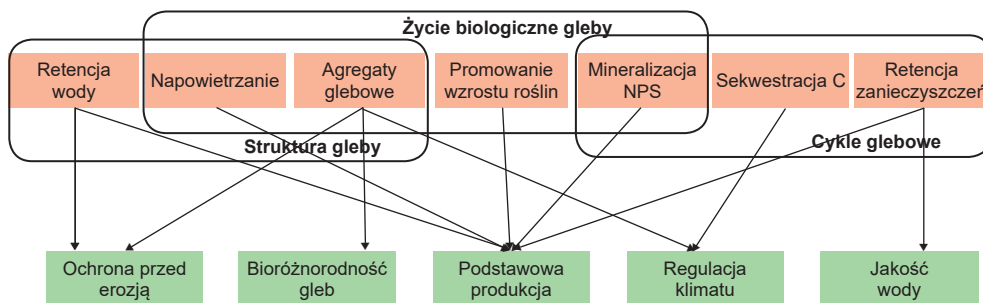
niekorzystne warunki. Na rysunku 1 przedstawiono wpływ materii organicznej na inne cechy gleby, kluczowe dla produkcji rolniczej oraz ograniczania negatywnych skutków środowiskowych związanych z rolnictwem.



Rys. 1. Schemat powiązań pomiędzy właściwościami gleby a materią organiczną oraz zyski środowiskowe związane z wysoką zawartością materii organicznej w glebie

Źródło: opracowanie własne

Badania glebowej materii organicznej przez wiele lat koncentrowały się na żyzności gleby, a później na interakcjach z zanieczyszczeniami gleby. Wzrastająca świadomość globalnych procesów zachodzących na świecie spowodowała, że uwaga środowiska naukowego przesunęła się w kierunku sekwestracji węgla jako czynnika regulacji klimatu oraz innych funkcji ekosystemowych materii organicznej (12, 15) (rys. 2).



Rys. 2. Funkcje ekosystemowe glebowej materii organicznej i procesy je wspierające

Źródło: Hoffland i in., 2020 (12)

Egzogenna materia organiczna w zrównoważonej produkcji rolnej

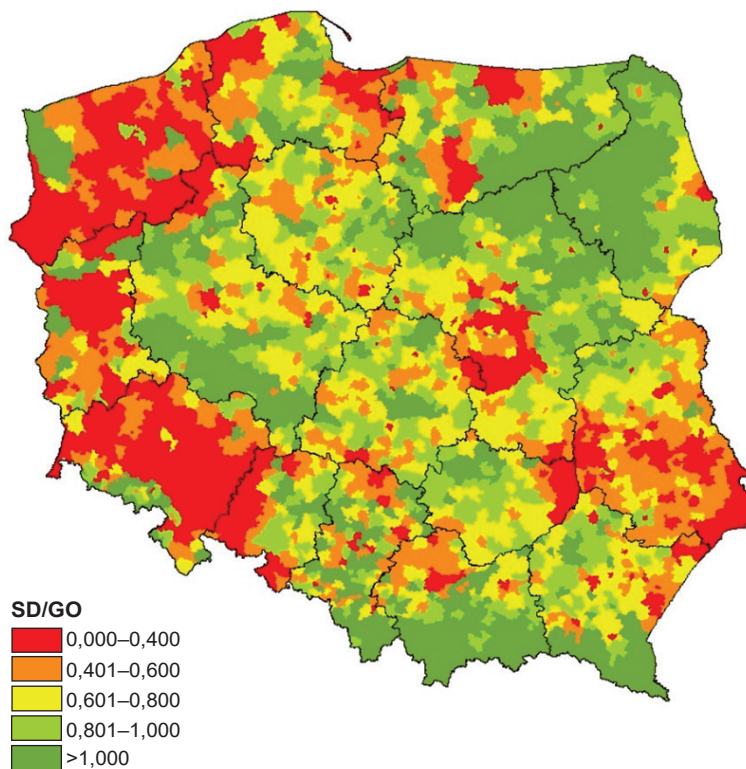
Europejski Zielony Ład (EZŁ) zawiera plan działań umożliwiających bardziej efektywne wykorzystanie zasobów dzięki przejściu na gospodarkę o obiegu zamkniętym, przeciwdziałaniu utracie różnorodności biologicznej i zmniejszeniu poziomu zanieczyszczeń. Jedną z strategii EZŁ „od pola do stołu” ma rozwijać zrównoważony system żywnościowy w UE, dla zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego oraz dostępu mieszkańców do zdrowej żywności. Strategia zakłada również zmniejszenie śladu środowiskowego i klimatycznego sektora produkcji żywności w UE. Do celów strategii należy znaczne zmniejszenie stosowania pestycydów i ryzyka z tym związanego oraz ograniczenie aplikowania nawozów i strat składników nawozowych. Biorąc pod uwagę globalne trendy stałego przyrostu populacji ludzi i zużycia składników nawozowych w rolnictwie (13) oraz stały ubytek gruntów rolnych w wyniku procesów urbanizacyjnych (20), wydaje się, że osiągnięcie celów nakreślonych przez EZŁ jest możliwe jedynie poprzez połączenie wielu jednoczesnych działań, takich jak:

- ograniczenie strat żywności;
- bardziej efektywna gospodarka wodą;
- precyzyjne rolnictwo;
- nowe postawy i oczekiwania społeczeństw w zakresie gospodarowania zasobami naturalnymi;
- cyrkularne wykorzystanie odpadów i składników nawozowych;
- stosowanie w rolnictwie rozwiązań opartych na naturze (ang. *Nature Based Solutions*);
- badania naukowe w bliskim partnerstwie nauki i przemysłu;
- regeneracja i pełne wykorzystanie naturalnego potencjału gleb.

Gleba jest kluczowym zasobem a wtórne wykorzystanie składników nawozowych i materii organicznej kluczowym działaniem dla możliwości osiągnięcia ambitnych celów EZŁ. Efektywnym narzędziem dla realizacji zamierzeń EZŁ powinny być bezpieczne bionawozy. Bionawozy mogą zawierać znaczne ilości egzogennej materii organicznej (EOM) oraz takich składników, jak fosfor i azot.

Rola bionawozów i EOM wzrasta, ponieważ w ostatnich latach w niektórych regionach naszego kraju następuje przyrost powierzchni użytków rolnych wykorzystywanych dla celów produkcji roślinnej w gospodarstwach bezinwentarzowych, a więc pozbawionych nawożenia organicznego. Według danych GUS (34) obsada zwierząt (bydła i trzody chlewnej) na poziomie kraju nie zmieniała się zasadniczo w przeciągu ostatnich 20 lat, natomiast obserwowano zróżnicowanie regionalne charakteru produkcji rolniczej. Następuje koncentracja produkcji zwierzęcej w niektórych regionach, co może powodować presję na środowisko wodne, związaną z nadmiarem biogenów. Z kolei w innych regionach występuje znaczny deficyt nawozów naturalnych, wynikający z zaniechania produkcji zwierzęcej, czego skutkiem może być negatywny bilans materii organicznej w glebach. Na rysunku 3 przedstawiono uproszczony

wskaźnik dla gmin w pewnym stopniu charakteryzujący dostępność nawozów naturalnych (obornik) dla gruntów użytkowanych w sposób orny (28).



Rys. 3. Obsada zwierząt w przeliczeniu na powierzchnię zasiewów i sadów (sztuk dużych·ha⁻¹) w ujęciu dla gmin

Źródło: Siebielec i Łopatka, 2013 (29)

Z uwagi na deficyt obornika jako podstawowego źródła materii organicznej, brane są pod uwagę alternatywne i dość powszechnie dostępne egzogenne źródła materii organicznej, takie jak osady ściekowe czy poferment.

Gleby Polski zawierają mało materii organicznej, gdyż w pokrywie glebowej dominują gleby lekkie wytworzone piasków. 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. Średnia zawartość materii organicznej w glebach gruntów ornych kraju na podstawie programu badań z lat 2016–2020 wynosi 2,26%, a mediana nie przekracza 2% (1,98) (28). W związku z tym wzrasta rola EOM, która sprzyja zwiększeniu lub co najmniej utrzymaniu poziomu materii organicznej w glebie.

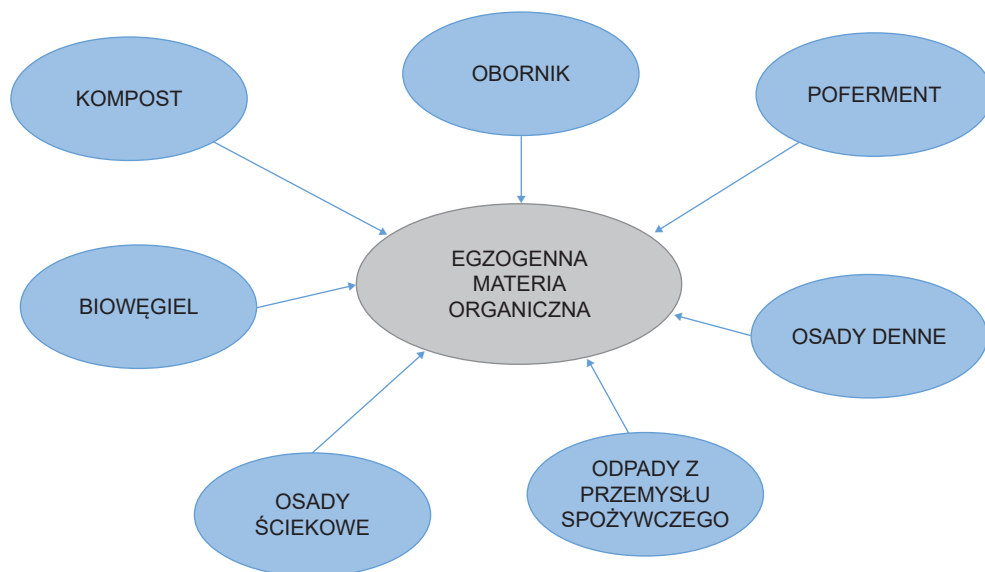
Egzogenna materia organiczna może być również znaczącym źródłem fosforu, który jest niezbędny dla wszystkich żywych organizmów. Człowiek pozyskuje fosfor z pożywienia, w którym pierwiastek ten pochodzi z nawozów fosforowych stosowanych podczas jego produkcji. Fosfor jest zatem kluczowym globalnym zasobem. Około 85–90% fosforytu wydobywanego na świecie jest przeznaczone do produkcji żywności (pozostała część przeznaczona jest do zastosowań przemysłowych, takich jak np. produkcja detergentów). W 2006 roku US Geological Survey oszacowało światowe rezerwy fosforytu, czyli złoża, które można obecnie eksploatować w ekonomicznie opłacalny sposób, na około 18 000 mln ton, podczas gdy jego mniej dostępne zasoby (złoża, które są możliwe do wykorzystania pod warunkiem postępu technologii wydobywania i przetwarzania) na około 50 000 mln ton. Szacuje się, że przy obecnym tempie wykorzystania powyższe zasoby mogą wystarczyć na 100–470 lat. To oznacza, że całkowite globalne zasoby fosforu są mocno ograniczone (10). Szacunki wskazują, iż wzrost zapotrzebowania na fosfor osiągnie globalny szczyt około 2030 roku. W związku z powyższym fosfor został przez Komisję Europejską wpisany na listę surowców krytycznych. Jednocześnie stopień wtórnego wykorzystania fosforu jest nadal niewielki. Priorytetem jest zatem podjęcie działań mających na celu ograniczenie stosowania tego pierwiastka ze źródeł kopalnych w rolnictwie na korzyść alternatywnych źródeł fosforu oraz optymalizacja wykorzystania fosforu wprowadzanego do gleby. Jednym z głównych celów nowej polityki nawozowej UE jest zachęcanie do produkcji nawozów na dużą skalę z krajowych surowców, w tym surowców wtórnych, zgodnie z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym, między innymi poprzez przekształcanie produktów ubocznych z przemysłu rolno-spożywczego w nowe bionawozy. Ryzyko związane z uzależnieniem się UE od importu fosforytu ma również kontekst geopolityczny, gdyż większość kopalnych zasobów fosforu jest zlokalizowana w zaledwie kilku krajach położonych poza Europą.

Do potencjalnych alternatywnych źródeł fosforu wykorzystujących wtórny obieg tego pierwiastka należą: osady ściekowe, struwit, obornik, komposty na bazie obornika i osadu ściekowego, toryfikat na bazie obornika i osadu ściekowego, mączki z odpadów zwierzęcych. Dla przykładu, średnio komunalne osady ściekowe wytwarzane w Polsce zawierają 2,6% azotu (N) i 1,83% fosforu (P) w suchej masie (31), stanowiąc znaczny rezerwuuar tych składników nawozowych.

Rolnictwo na całym świecie stoi przed takimi wyzwaniami, jak zwiększenie produktywności i dochodów, dostosowanie się do zmian klimatu, zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i efektywna gospodarka wodą. Wśród praktyk wspomagających realizację tych wyzwań recykling EOM może odgrywać znaczącą rolę. Bionawozy oparte na EOM zmniejszają uzależnienie rolnictwa od zasobów nieodnawialnych, takich jak nawozy mineralne. Jako nawozy niesyntetyczne, EOM są niezbędne w rolnictwie ekologicznym.

Egzogenna materia organiczna to wszelki materiał organiczny pochodzenia biologicznego stosowany do gleby w celu poprawy środowiska glebowego lub zapobiegania stratom materii organicznej w glebach rolniczych (9). Jej wpływ na plonowanie roślin

uprawnych, akumulację węgla w glebie czy wykorzystanie azotu był dość szeroko badany. Dane literaturowe wskazują jednak, że potrzebna jest jednak lepsza charakterystyka dużej różnorodności EOM i zmienności efektów ich stosowania do gleby, aby określić ilościowo ich potencjał do magazynowania węgla w glebie, zwłaszcza w odniesieniu do EOM, która została poddana obróbce, takiej jak kompostowanie lub fermentacja beztlenowa (8). Potencjalnie najistotniejsze źródła EOM w warunkach Polski zostały przedstawione na rysunku 4.



Rys. 4. Najistotniejsze rodzaje egzogennej materii organicznej

Źródło: opracowanie własne

EOM występuje w różnych formach (stałe, płynne) i może być w wieloraki sposób przetwarzana przed zastosowaniem do gleby. W zależności od substratu z jakiego powstała, będzie mieć zróżnicowany skład chemiczny i poziom zanieczyszczeń. W konsekwencji efekty wprowadzenia EOM do gleby mogą być zróżnicowane (16). Zastosowanie egzogennej materii organicznej do gleby pozwala zminimalizować strumienie odpadów i prowadzić recykling składników nawozowych.

Na poziomie europejskim każdego roku produkuje się około 1200 milionów ton EOM, podczas gdy roczna produkcja w samych Włoszech wynosi około 150 milionów ton (17). Odpady organiczne pochodzące z obszarów miejskich występują obficie na obszarach gęsto zaludnionych, a mimo to w niewystarczającym stopniu podlegają recyklingowi. Nowa polityka nawozowa UE, której efektem jest rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1009 (25), ma ułatwić wykorzystanie EOM w rolnictwie i szersze wprowadzenie na rynek nawozów z bioodpadów. Roz-

porządzenie wskazuje między innymi, że *...na rynku istnieje popyt na stosowanie jako produktów nawozowych niektórych odpadów z odzysku w rozumieniu dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE, takich jak struwit, biowęgiel i produkty na bazie popiołów*. W innym miejscu powyższe rozporządzenie odnosi się do bezpiecznej EOM w następujący sposób: *...począwszy od momentu spełnienia wszystkich wymogów niniejszego rozporządzenia, produktów takich nie należy już uznawać za odpady w rozumieniu dyrektywy 2008/98/WE oraz powinno być zatem możliwe, by produkty nawozowe zawierające takie odzyskane materiały odpadowe lub składające się z nich miały dostęp do rynku wewnętrznego*. Jednocześnie wskazano potrzebę badań naukowych i określenia wymogów dotyczących bezpiecznego odzysku składników z bioodpadów: *...po wejściu w życie niniejszego rozporządzenia należy w stosunku do takich produktów rozpocząć przeprowadzanie analiz naukowych i ustalanie wymogów dotyczących odzysku na poziomie Unii*.

Obornik

Obornik zwierzęcy jest klasycznym nawozem organicznym stosowanym od wieków w rolnictwie. Powstaje w wyniku zmieszania odchodów zwierzęcych i słomy. Obornik stanowi źródło składników nawozowych, węgla jako substratu do tworzenia próchnicy glebowej, a także stanowi miejsce bytowania mikroorganizmów, które pozytywnie wpływają na życie biologiczne gleby. Skład chemiczny obornika może być zróżnicowany, w zależności od gatunku i wieku zwierząt, sposobu ich żywienia oraz jakości skarmianej paszy, a także od stanu zwierzęcia, ilości stosowanej ściółki oraz stopnia przefermentowania materiału. Obornik może obficie dostarczać składników odżywczych, takich jak azot (N), fosfor (P), a nawet potas (K). Rayne i Aula (23) podsumowują wpływ obornika na szeroko rozumiane zdrowie gleby. Według autorów, obornik z reguły wpływa korzystnie na wiele cech gleby decydujących o jej zdrowiu, między innymi dostarczając składników pokarmowych i poprawiając właściwości gleby (zawartość węgla, właściwości fizyczne, aktywność biologiczna). Stopień korzystnego oddziaływania może być jednak zmienny i zależy od różnych czynników, w tym chemicznych i fizycznych właściwości samego obornika oraz czynników zewnętrznych (klimat i właściwości gleby). Sposób stosowania obornika musi zapewniać poprawę właściwości gleb, produktywności roślin, przy jednoczesnym zmniejszeniu zagrożeń dla środowiska. Duża zmienność cech obornika, a co za tym idzie niepełna przewidywalność efektów jego zastosowania stanowi wyzwanie dla zrównoważonego gospodarowania tym nawozem. Składniki nawozowe wprowadzone do gleby z obornikiem mogą podlegać stratom w wyniku erozji gleby oraz ich wymywania i ulatniania się, w zależności od stosowanej praktyki rolniczej i warunków glebowych. Pewne wyzwanie stanowi również transport i aplikacja obornika, co powoduje, że jego stosowanie jest nieatrakcyjne z punktu widzenia koniecznej pracy i kosztów. Przewożenie dużych ilości obornika z miejsc jego koncentracji w regionach o dużym nasyceniu produkcji zwierzęcej staje się kłopotliwe i prowadzi do wzrostu

wydatków na transport. Dlatego należy spodziewać się wzrostu zainteresowania przetworzonym obornikiem, w tym obornikiem granulowanym.

Pomimo, że obornik zwierzęcy ma szerokie zastosowanie jako naturalny nawóz, jego stosowanie niesie za sobą również potencjalne ryzyko dla zdrowia ludzi i zwierząt oraz ekosystemu. Ryzyko to jest związane z zanieczyszczeniami, takimi jak bakterie chorobotwórcze i wirusy, antybiotykooporne bakterie, pozostałości leków weterynaryjnych, hormony. Niezbędna jest wiedza w zakresie skali zanieczyszczenia tego typu, dróg ich rozchodzenia się w środowisku oraz trwałości i ich losów po wprowadzeniu obornika do gleby. Badania prowadzone w Chinach wskazują, że zastosowanie obornika znacząco zwiększa udział antybiotykoodpornych populacji bakterii w glebie (11). Najnowsze doniesienia literaturowe wskazują, że stosowanie egzogennej materii organicznej do gleb w postaci obornika to zagadnienia znacznie wykraczające poza kwestie składników nawozowych i bilansu węgla.

Osady ściekowe

Zgodnie z Krajowym Planem Gospodarki Odpadami produkcja osadów ściekowych miała w 2018 r. osiągnąć aż 706,6 tys. ton suchej masy osadu (4). Jakość komunalnych osadów ściekowych stosowanych w rolnictwie jest ściśle określona w rozporządzeniu Ministra Środowiska z 6 lutego 2015 r. (24). Kryteria jakościowe osadów są dość zbieżne z regulacjami stosowanymi w całej UE. Obejmują one wskaźniki jakościowe, 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 powyższym rozporządzeniu określono również dopuszczalne dawki osadu do zastosowania w rolnictwie i rekultywacji do celów nierolniczych. Wykorzystanie osadów ściekowych w rolnictwie lub rekultywacji można uznać za alternatywną metodę odzysku substancji organicznych i składników nawozowych. Przyrost ilości osadów ściekowych produkowanych w Polsce oraz zmniejszenie dostępności nawozów naturalnych w wielu regionach przemawia za przyrodniczym stosowaniem części osadów ściekowych w rolnictwie i rekultywacji. Warunkiem dla powszechnego wykorzystania osadów w rolnictwie musi być ich dodatni wpływ na jakość gleby i znaczne wykorzystanie składników nawozowych przy braku skutków negatywnych, takich jak transfer zanieczyszczeń do roślin uprawnych i wód gruntowych lub nadmierne wzbogacenie wód gruntowych w składniki biogenne. Jak wykazały wcześniejsze badania, około 75% komunalnych osadów ściekowych wytwarzanych w Polsce spełnia obecne kryteria zawartości metali śladowych, stanowiąc potencjalne źródło wzbogacenia gleb w materię organiczną. Badania te przeprowadzono na próbie reprezentatywnej obejmującej 60 oczyszczalni o różnej wielkości, w tym na terenach przemysłowych Górnego Śląska (31). Pomimo uregulowań prawnych dotyczących stosowania osadów ściekowych w rolnictwie istnieje wiele kontrowersji i uprzedzeń ograniczających ich szersze stosowanie. Kontrowersje wynikają głównie z braku pełnej informacji odno-

śnie korzyści, zagrożeń oraz obecności zanieczyszczeń w osadach ściekowych i ich wpływu na środowisko glebowe. Dotychczasowe badania skutków stosowania osadów ściekowych do gleby dotyczyły głównie przemian składników nawozowych (azot, fosfor) i wpływu na plon (produkcyjna funkcja gleby), przy zdecydowanie mniejszej uwadze poświęconej ich wpływowi na życie biologiczne gleby i jej bioróżnorodność. Można przypuszczać, że w niedalekiej przyszłości będzie wzrastać zainteresowanie mniej rozpoznanymi zanieczyszczeniami, które mogą się znajdować w osadach ściekowych: antybiotyki i geny antybiotykooporności, hormony, pozostałości pestycydów, nanocząstki, nanoplastiki i ich pochodne, zarówno w sferze badań naukowych, jak i w dalszej perspektywie regulacji prawnych dotyczących stosowania osadów ściekowych.

Według badań IUNG-PIB, opartych na doświadczeniach poletkowych, lizymetrycznych i szklarniowych, osady ściekowe mogą być cennym uzupełnieniem deficytów mikroelementów i magnezu w roślinach oraz mogą zwiększać zasobność gleb w fosfor i magnez przyswajalny, a ponadto po kilku latach od zastosowania zwiększają odporność gleby na fizyczną degradację. Osady ściekowe, nawet w dawkach rekultywacyjnych, stymulują aktywność i liczebność mikroorganizmów glebowych, szczególnie bakterii. Stosowanie wysokich rekultywacyjnych dawek osadów ściekowych powoduje trwałą sekwestrację węgla w glebie. Kontrolę wymaga kwestia wymywania azotanów przy wysokich rekultywacyjnych dawkach osadów, gdyż stężenie azotanów w odciekach oraz całkowite wymycie azotu w glebie nawożonej rekultywacyjnymi dawkami osadów jest nieco większe niż w przypadku nawożenia mineralnego. Jednakże dopuszczalne obecnie dawki osadów ściekowych stosowane w rolnictwie ($3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) nie powodują zagrożenia środowiskowego tego typu.

Oprócz zastosowania rolniczego osadów lub osadów przetworzonych na kompost lub poferment, mogą one być potencjalnie zastosowane w celu przywracania wartości użytkowych i przyrodniczych terenom zdewastowanym i zdegradowanym przez działalność człowieka oraz wykorzystane w rekultywacji składowisk, gruntów pokopalnianych lub do nawożenia trawników i innych terenów zielonych w miastach, gdyż stanowią one materiał o właściwościach użyźniających glebę i poprawiających retencję wody. Komunalne osady ściekowe okazały się efektywne w przyrodniczej zabudowie składowisk odpadów pohutniczych zawierających bardzo wysokie zawartości potencjalnie toksycznych pierwiastków, takich jak kadm i ołów (30). Przed rekultywacją składowiska te stanowiły poważne źródło wtórnego zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi. Wprowadzenie pokrywy roślinnej, dzięki poprawie warunków rozwoju roślin po zastosowaniu osadów ściekowych (wprowadzenie składników nawozowych, poprawa retencji wody, uruchomienie aktywności biologicznej), ograniczało dyspersję zanieczyszczeń, a wieloletnie badania wskazują na trwałą charakter rekultywacji (rys. 5).



Rys. 5. Efekt rekultywacji składowiska odpadów pohutniczych z wykorzystaniem osadu ściekowego i wapna – po lewej obszar kontrolny, po prawej obszar zrekultywowany

Źródło: Grzegorz Siebielec

Kompost

W ostatnich dziesięcioleciach ilości odpadów stałych generowanych na świecie dynamicznie wzrastały, co jest skorelowane przede wszystkim ze zwiększeniem liczby ludności. Należy podkreślić, iż nowoczesny styl życia i obecne standardy ze względu na rozwój gospodarczy i związany z nim wzrost w urbanizacji znacznie przyczyniły się do przyrostu ilości wytwarzanych odpadów, w tym również bioodpadów (7, 32). Oszacowano, że na całym świecie w 2016 roku wytworzono w miastach około 2 mld t odpadów stałych. Wiele z tych odpadów ma pochodzenie żywnościowe, stanowi zatem znaczny rezerwuuar dobrej jakości surowca do produkcji bioodpadów. Bezpośrednie zastosowanie świeżych organicznych odpadów stałych do środowiska przyrodniczego nie jest zalecane. W związku z tym technologia kompostowania jako produkcji bionawozów jest atrakcyjnym sposobem zarządzania materią organiczną i składnikami nawozowymi w cyklu zamkniętym.

Kompostowanie jest naturalnym procesem opartym na aktywności drobnoustrojów i rozkładzie martwej materii organicznej w warunkach tlenowych. Wykorzystanie kompostu jako bionawozu niesie za sobą wiele korzyści, natomiast na właściwości i efekty stosowania kompostu mają wpływ wykorzystany surowiec, sposób kompostowania, przechowywanie i stosowanie kompostu.

Sayara i in. (26) wskazują na pozytywne wyniki stosowania kompostu w rolnictwie. Generalnie, jeśli proces kompostowania przebiega prawidłowo, a kompost jest stabilny i dojrzały, to jest on cennym źródłem makro- i mikroelementów, które mogą

zastąpić nawozy syntetyczne. Niektóre badania dowiodły, że kompost wykazuje inne korzystne oddziaływania, takie jak m.in. hamowanie chorób roślin.

Kompost ma wysoką zawartość materii organicznej i z tego powodu łatwo podnosi poziom materii organicznej w glebie, co prowadzi do poprawy stabilności agregatów glebowych, lepszej zdolności zatrzymywania wody, poprawy szybkości infiltracji w glebach bardziej zwięzłych. Jedną z unikalnych cech kompostu jest obfitość drobnoustrojów, co również zwiększa aktywność mikrobiologiczną gleby wzbogaconej kompostem. Vermikompost ma jeszcze wyższą bioróżnorodność mikroorganizmów, ponieważ w procesie jego wytwarzania nie zachodzi faza wysokich temperatur. Dostępność składników nawozowych z kompostu jest dość korzystna. Część składników nawozowych, w tym azotu, jest dostępna dla roślin tuż po wprowadzeniu do gleby, pozostała pula składników jest uruchamiana stopniowo na skutek oddziaływania mikroorganizmów (21).

Wpływ kompostów na plon roślin może mieć bezpośredni charakter wynikający z uruchamiania składników nawozowych kompostu, jak również pośredni – poprzez modyfikację retencji wody w glebie lub aktywności mikroorganizmów w strefie korzeniowej. Na rysunku 6 przedstawiono efekt zastosowania kompostu w dawce $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ na rozwój roślin w sezonie o niedostatecznej ilości opadów.



Rys. 6. Porównanie rozwoju roślin w sezonie o niedostatecznej ilości opadów – po lewej obiekt kontrolny z przyorywaniem słomy, po prawej – poletko z zastosowanym kompostem ze słomy i osadów ściekowych

Źródło: Grzegorz Skomra

Ewentualne ryzyka związane ze stosowaniem kompostu odnoszą się do niewłaściwego bilansu składników nawozowych oraz obecności zanieczyszczeń związanych bezpośrednio z rodzajem substratu wykorzystanego do produkcji kompostu. Jeśli do

produkcji kompostu jest wykorzystywany komunalny osad ściekowy, istotne będą zagrożenia ze strony zanieczyszczeń wymienianych poprzednio w przypadku osadów ściekowych, z zastrzeżeniem, że niektóre zanieczyszczenia mogą być unieszkodliwiane w procesie kompostowania. Odpady stałe (plastik, szkło, metal, a zwłaszcza mikroplastik) stanowią specyficzny problem dla jakości kompostów, powiązany z jakością selektywnej zbiórki odpadów.

Komposty wykazują dużą przydatność do rekultywacji gleb zanieczyszczonych metalami i niwelowania negatywnych skutków zanieczyszczenia dla roślin i życia biologicznego w glebie. Ich dodatek do gleby zdecydowanie poprawia plon i zdrowotność roślin. Korzystny wpływ kompostu na rośliny jest związany nie tylko z jego sorpcyjnymi właściwościami, ale również z dostarczeniem składników nawozowych i większą dostępnością mikroelementów. Lepiej odżywione rośliny okazują się być bardziej odporne na stres chemiczny. Co istotne, kompost poprawia rozwój roślin na zanieczyszczonej glebie niezależnie od gatunku rośliny (rys. 7). Komposty powinny być aplikowane w remediacji gleb wraz z wapnem w celu przeciwdziałania spadkowi pH gleby. Korzystny jest również fakt, że dodatek kompostów zwiększał udział trudno rozpuszczalnych frakcji kadmu i ołowiu, zmniejszając ich biodostępność. Ponadto wprowadzenie kompostu poprawiało aktywność mikrobiologiczną zanieczyszczonej gleby i ograniczało akumulację kadmu w organizmach dżdżownic (27).



Rys. 7. Wpływ kompostu na rozwój różnych roślin na glebie skażonej cynkiem, ołowiem i kadmem – na każdym zdjęciu od lewej: gleba kontrolna, gleba z dodatkiem wapna, gleba z dodatkiem kompostu

Źródło: Grzegorz Siebielec

Poferment

W ostatnich latach następuje znaczny wzrost zainteresowania rozwojem energetyki opartej na produkcji biogazu. Eksploatacja biogazowni wymaga efektywnego zarządzania pofermentem, produktem ubocznym pozostającym po fermentacji beztlenowej biodegradowalnych surowców. Biogaz i poferment mogą być wytwarzane z biomasy roślinnej, produktów ubocznych rolnictwa, odpadów zwierzęcych, obornika, gnojowicy, odpadów organicznych selektywnie zbieranych (np. kuchennych). Wtórne wykorzystanie materii organicznej i składników odżywczych z pofermentu jako bionawozu jest uważane za najbardziej właściwe zagospodarowanie pofermentu. W przypadku wykorzystania w procesie fermentacji wyłącznie substratów pochodzenia roślinnego, znacznie ograniczane jest ryzyko występowania i zakres potencjalnych zanieczyszczeń w bionawozie. Wysoki potencjał nawozowy pofermentu wiąże się z dużą zawartością przyswajalnego dla roślin azotu, a także fosforu i potasu (1, 18). Wielu autorów w swoich pracach przedstawia pozytywne działanie pofermentu w porównaniu z innymi materiałami egzogennymi, takimi jak obornik (19) lub gnojowica (2, 33).

Fracja stała pofermentu składa się ze strukturalnych części materii organicznej, zawiera kwasy humusowe budujące próchnicę oraz znaczne ilości związków mineralnych. Jego aplikacja do gleby zwiększa w niej zawartość węgla, co pozytywnie wpływa na zdolności retencyjne i sorpcyjne gleby, a jednocześnie jest doskonałym źródłem składników pokarmowych dla roślin, zmniejszając tym samym zapotrzebowanie na nawozy mineralne. Fracja płynna pofermentu zawiera substancje humusowe oraz znaczne ilości rozpuszczalnego azotu, fosforu i potasu, łatwo przyswajalnych dla roślin. W Polsce zawartość materii organicznej w pofermencie stałym wynosi 89–95%, natomiast w pofermencie płynnym 58–62% suchej masy pofermentu (14).

Materia organiczna pofermentu, podobnie jak resztki roślinne, poddawana jest w glebie procesom rozkładu i przemian. Poferment jest rozkładany w glebie przez drobnoustroje, a następnie ulega przemianom prowadzącym do powstania związków próchnicznych. Jak donoszą *Cavalli i in.* (6), mineralizacja węgla z przefermentowanego obornika w okresie wegetacji kształtowała się na poziomie 32–34% węgla organicznego dodanego do gleby. Był on istotnie niższy niż w przypadku obornika (51% C obornika po 181 dniach). Po jednym sezonie ta pula węgla pozostała w glebie, dlatego można założyć, że frakcja ta zostaje włączona do cyklu przemian węgla glebowego SOC, jeśli warunki w glebie nie ulegną drastycznej zmianie. Podobnie wyniki badań *Beghin-Tanneau i in.* (3) wskazują, że nie więcej niż 40% węgla wprowadzonego do gleby z pofermentem jest uwalniane jako CO₂ w okresie wegetacji.

Przygocka-Cyna i Grzebisz (22), opierając się na doświadczeniach polowych wskazali zalety i ograniczenia stałego pofermentu jako bionawozu. Zastosowana masa pofermentacyjna okazała się dobrym nośnikiem składników pokarmowych dla kukurydzy na ziarno, mającym duży potencjał do zastąpienia niektórych nawozów mineralnych. Poferment nie był natomiast w stanie pokryć niedoborów wszystkich

składników pokarmowych, które w intensywnie uprawianej glebie mogą występować w niedostatecznych ilościach. W opisywanych badaniach niedobór składników pokarmowych dotyczył potasu, magnezu oraz niektórych mikroelementów (żelaza i cynku).

Zalety stosowania pofermentu jako bionawozu są jednak liczne i kompleksowe. Obejmują one: wprowadzenie materii organicznej do gleby, aktywację życia biologicznego, dostarczenie azotu o różnej dostępności dla roślin, poprawę struktury gleby i odporności na erozję, ponowne wykorzystanie składników nawozowych oraz poprawę kondycji roślin.

Literatura

1. Arthurson V.: Closing the global energy and nutrient cycles through application of biogas residue to agricultural land – Potential benefits and drawbacks. *Energies*, 2009, **2**: 226-242.
2. Bachmann S., Wentzel S., Eichler-Löbermann B.: Codigested dairy slurry as a phosphorus and nitrogen source for *Zea mays* L. and *Amaranthus cruentus* L. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2011, **174**: 908-915.
3. Beghin-Tanneau R., Guérin F., Guisresse M., Kleiber D., Scheiner J.D.: Carbon sequestration in soil amended with anaerobic digested matter. *Soil & Tillage Research* 2019, **192**: 87-94.
4. Bięń J.: Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych metodami termicznymi. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 2012, **15(4)**: 439-449.
5. Bouwman A.F., Boumans L.J.M., Batjes N.H.: Estimation of global NH₃ volatilization loss from synthetic fertilizers and animal manure applied to arable lands and grasslands. *Global Biogeochemical Cycles*, 2002, **16(2)**: 1024.
6. Cavalli D., Corti M., Baronchelli D., Bechini L., Marino Gallina P.: CO₂ emissions and mineral nitrogen dynamics following application to soil of undigested liquid cattle manure and digestates. *Geoderma* 2017, **308**: 26-35.
7. Chen P., Xie Q., Addy M., Zhou W., Liu Y., Wang Y., Cheng Y., Yanling C., Ruan R.: Utilization of municipal solid and liquid wastes for bioenergy and bioproducts production. *Bioresource Technology*, 2016, **215**: 163-172.
8. Chenu C., Angers D.A., Barré P., Derrien D., Arrouays D., Balesdent J.: Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil and Tillage Research*, 2019, **188**: 41-52.
9. Dębska B., Długosz J., Piotrowska-Długosz A., Banach-Szott M.: The impact of a bio-fertilizer on the soil organic matter status and carbon sequestration – results from a field-scale study. *Journal of Soils and Sediments*, 2016, **16**: 2335-2343.
10. FAO: Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. Reconciling changing concepts of soil phosphorus behaviour with agronomic information. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2008.
11. 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. *Science of the Total Environment*, 2018, **635**: 995-1003.
12. Hoffland E., Kuyper T.W., Comans R.N.J., Creamer R.E.: Eco-functionality of organic matter in soils. *Plant Soil*, 2020, **455**: 1-22.
13. Komisja Europejska: Resilience and transformation. Report of the 5th SCAR Foresight Exercise Expert Group. Natural resources and food systems: Transitions towards a 'safe and just' operating space. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020, pp. 148; <https://scar-europe.org/images/FORESIGHT/FINAL-REPORT-5th-SCAR-Foresight-Exercise.pdf>

14. K o w a l c z y k-Juśko A., Szymańska M.: Pofement nawozem dla rolnictwa. Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa Warszawa, 2015, ss. 64.
15. L a l R.: Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 2004, **304**: 1623-1627.
16. M o i n a r d V., L e v a v a s s e u r F., H o u o t S.: Current and potential recycling of exogenous organic matter as fertilizers and amendments in a French peri-urban territory. *Resources, Conservation and Recycling*, 2021, **169**: 105523.
17. M o n d i n i C., C a y u e l a M. L., S i n i c c o T., F o r n a s i e r F., G a l v e z A., S á n c h e z - M o n e d e r o M. A.: Soil C storage potential of exogenous organic matter at regional level (Italy) under climate change simulated by RothC model modified for amended soils. *Frontiers of Environmental Science*, 2018, **6**: 144.
18. M ö l l e r K., M ü l l e r T.: Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth. *Engineering in Life Sciences*, 2012, **12**: 242-257.
19. O d l a r e M., P e l l M., S v e n s s o n K.: Changes in soil chemical and microbiological properties during 4 years of application of various organic residues. *Waste Management*, 2008, **28**: 1246-1253.
20. P r o k o p G., J o b s t m a n n H., S c h o n b a u e r A.: Report on best practices for limiting soil sealing and mitigating its effects. Publisher: European Commission, Brussels, Technical Report 2011, pp. 231.
21. Projekt Best4soils. Factsheets. Kompost - zalety i wady. www.best4soil.eu
22. P r z y g o c k a - C y n a K., G r z e b i s z W.: Biogas digestate – benefits and risks for soil fertility and crop quality – an evaluation of grain maize response. *Open Chem.* 2018, **16**: 258-271.
23. R a y n e N., A u l a L.: Livestock manure and the impacts on soil health: a review. *Soil Systems* 2020, **4**: 64.
24. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. 2015, nr 0, poz. 257).
25. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1009 z dnia 5 czerwca 2019 r. ustanawiające przepisy dotyczące udostępniania na rynku produktów nawozowych UE, zmieniające rozporządzenia (WE) nr 1069/2009 i (WE) nr 1107/2009 oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 2003/2003
26. S a y a r a T., B a s h e e r - S a l i m i a R., H a w a m d e F., S á n c h e z A.: Recycling of organic wastes through composting: process performance and compost application in agriculture. *Agronomy* 2020, **10**: 1838.
27. S i e b i e l e c G.: Ocena skuteczności rekultywacji gleb zanieczyszczonych metalami na podstawie reakcji różnych elementów środowiska glebowego. Raport końcowy projektu MNiSZW nr 2P04G06130, 2009, ss. 68.
28. S i e b i e l e c G., Ł o p a t k a A., S m r e c z a k B., K a c z y Ń s k i R., S i e b i e l e c S., K o z a P., D a c h J.: Materia organiczna w glebach mineralnych Polski. Zagrożenia dla jakości gleb w Polsce – część II. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2020, **64(18)**: 9-30.
29. S i e b i e l e c G., Ł o p a t k a A.: Kryteria wyodrębniania oraz charakterystyka obszarów specyficznych. W: *Rolnictwo na obszarach specyficznych*, M. Matyka (red.). GUS, Warszawa, 2013, s. 8-15.
30. S i e b i e l e c S., S i e b i e l e c G., S t u c z y Ń s k i T., S u g i e r P., G r z ę d a E., G r z ą d z i e l J.: Long term insight into biodiversity of a smelter wasteland reclaimed with biosolids and by-product lime. *Science of the Total Environment*, 2018, **636**: 1048-1057.
31. S i e b i e l e c G., S t u c z y Ń s k i T.: Metale śladowe w komunalnych osadach ściekowych wytwarzanych w Polsce. *Proceedings of ECOpole*, 2008, **2(2)**: 479-484.
32. S o o b h a n y N.: Insight into the recovery of nutrients from organic solid waste through biochemical conversion processes for fertilizer production: A review. *Journal of Cleaner Production* 2019, **241**: 118413.

33. *Wentzels, Joergensen R.G.*: Quantitative microbial indices in biogas and raw cattle slurries. *Engineering in Life Sciences*, 2016, **16**: 231-237.
34. <https://stat.gov.pl/>
-

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 4786918
e-mail: gs@iung.pulawy.pl

AUTOR	ORCID
Grzegorz Siebielec	0000-0001-8089-6123
Sylwia Siebielec	0000-0001-9516-1939
Radosław Kaczyński	0000-0002-2427-9099
Piotr Koza	0000-0002-0243-7631

Eugeniusz Nowocień, Rafał Wawer

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

ŚRODOWISKOWE SKUTKI EROZJI GLEB I METODY PRZECIWDZIAŁANIA*

Słowa kluczowe: erozja wodna, erozja wietrzna, melioracje przeciwerozyjne

Wstęp

Za twórcę terminu „erozja gleb” uznaje się Hougha Hammonda Bennetta, który od 1903 r. rozpoczął systematyczne badania nad degradowaniem gleb przez wodę i wiatr. Podsumowaniem tych badań było sprawozdanie pn. „Soil erosion a national mance” złożone w 1928 r. w Ministerstwie Rolnictwa Stanów Zjednoczonych (38).

Po 1930 r., w wyniku dynamicznego rozwoju teoretycznych i praktycznych badań erozyjnych, termin „erozja gleb” wszedł do powszechnego użytku. Początkowo większość badaczy, podobnie jak twórca tego pojęcia, obejmowali nim tylko procesy niszczenia wierzchniej warstwy gleby przez wodę i wiatr. W miarę upływu czasu i postępu badań włączano coraz to inne siły przyrody (grawitację, lodowce, śnieg, temperaturę) oddziałujące destrukcyjnie na gleby, zawsze jednak uwzględniano wyjątkową rolę czynnika antropopresji w wyzwaniu i nasilaniu procesów erozyjnych.

W światowych studiach nad systematyką erozji można wyróżnić kilka sposobów klasyfikacji różniących się przyjmowanymi kryteriami podziału.

Z uwarunkowaniami zewnętrznymi jest związany, powszechnie przyjęty, podział na erozję geologiczną (naturalną) powodowaną wyłącznie siłami przyrody i bez udziału człowieka oraz na erozję gleb przyspieszoną – antropogeniczną zachodzącą pod wpływem czynników przyrodniczych, lecz determinowanych różnymi formami antropopresji.

Regularne badania erozyjne w Polsce rozpoczął w 1926 r. profesor Stanisław Bac. Zostały one wznowione po drugiej wojnie światowej w 1946 r. Początkowo skupiały się w PINGW w Puławach, a następnie zaczęły się dynamicznie rozwijać

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.0 pt. „Ochrona gleb użytkowanych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

w wielu ośrodkach naukowych z inspiracji takich uczonych, jak: Bac (1, 2), Ziemiński (45, 46, 47), Niewiadomski (31), Figuła (5, 6, 7), Prochal (34, 35), Starkel (40, 41), Maruszczak (28, 29), Józefaciuk A. i Józefaciuk C. (12, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 23) i innych.

Badania pedologiczne przeprowadzone w latach 80. ubiegłego stulecia wykazały, że na wszystkich kontynentach obniża się wydajność gleb użytkowanych rolniczo (44). Tę niepokojącą prognozę zmian środowiska przyrodniczego podjęła i upowszechniła organizacja FAO (ang. *Food and Agriculture Organization*) (8). Za jedną z głównych przyczyn obniżania się produktywności gleb uznano erozję wodną, a w wielu krajach erozję wietrzną (10).

W Polsce najbardziej negatywne skutki przyrodnicze i gospodarcze są powodowane przez erozję wodną powierzchniową i erozję wąwozową (12, 15, 16, 26, 11, 33). Lokalnie dewastację gruntów powodują również ruchy masowe, zwłaszcza osuwiska (47, 20, 42, 33).

Przedstawione dane opisowe i tabelaryczne mogą być wykorzystane w przedsięwzięciach decyzyjnych dotyczących ochrony środowiska i gospodarki gruntami, a także w różnego rodzaju pracach planistycznych i projektowo-wdrożeniowych podejmowanych na terenach zagrożonych erozją gleb.

Ocena stanu zagrożenia gleb erozją wodną powierzchniową

Zagrożenie gruntów erozją wodną powierzchniową opracowano według metody Anny i Czesława Józefaciuków (14, 15) wyznaczania stopni erozji wodnej potencjalnej, gdzie głównymi kryteriami przyrodniczymi wpływającymi na potencjalne nasilenie erozji wodnej są: nachylenie terenu, podatność gleby na zmywy powierzchniowe i wielkość opadu rocznego. W przeprowadzonych analizach zagrożenia nie uwzględniono sposobu użytkowania ziemi, który stanowi jedno z kryteriów rzeczywistego zagrożenia. Oznacza to, że do obszarów potencjalnie zagrożonych powierzchniową erozją wodną włączono również obszary zajęte przez tereny zalesione.

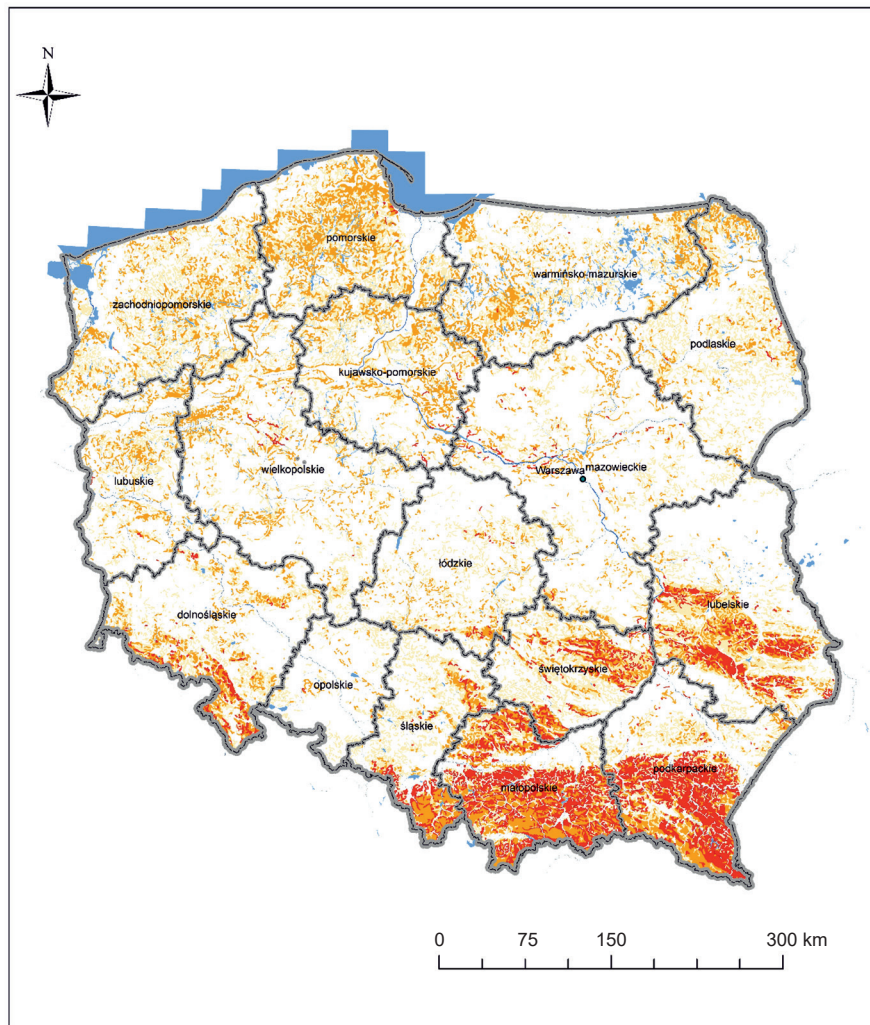
Ze względu na czynności opracowań kartograficznych w małych skalach, zregulowano klasy potencjalnego zagrożenia erozją, otrzymując w miejsce pięciu klas nasilenia, tj.:

- 1) erozja słaba,
- 2) erozja umiarkowana,
- 3) erozja średnia,
- 4) erozja silna,
- 5) erozja bardzo silna,


trzy klasy:

- 1) erozja słaba (agregatowano klasy 1 i 2),
- 2) erozja średnia (klasa 3),
- 3) erozja silna (agregatowano klasy 4 i 5).

Przeprowadzone analizy wykazały, że około 29% obszaru Polski, w tym 21% użytków rolnych, głównie gruntów ornych i około 8% powierzchni lasów, jest zagrożonych erozją wodną, w tym silną – 4%, średnią – 11%, słabą – 14% (15) (rys.1, tab.1).



Legenda

 granica państwa	Erozja wodna potencjalna
 granica województwa	 1 – erozja słaba
 główne rzeki	 2 – erozja średnia
 jeziora	 3 – erozja silna

Rys. 1. Potencjalne zagrożenie powierzchniową erozją wodną gleb obszaru Polski

Źródło: Józefaciuk i Józefaciuk, 1995 (18)

Tabela 1
Potencjalne zagrożenie powierzchniową erozją wodną gleb w Polsce wg województw

Lp.	Województwo	Pow. ogólna km ²	Zagrożenie erozją w stopniu															
			1 – słabym				2 – średnim				3 – silnym				2 – 3			
			UR	Ls	UR	Ls	UR	Ls	UR	Ls	UR	Ls	UR	Ls				
			km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%		
1.	dolnośląskie	19947,8	1924,4	9,6	990,0	5,0	1361,5	6,8	754,2	3,8	289,7	1,5	346,1	1,7	1651,2	8,3	1100,3	5,5
2.	kujawsko-pomorskie	17969,7	2116,2	11,8	520,3	2,9	1773,6	9,9	671,2	3,7	57,0	0,3	3,6	0,0	1830,6	10,2	674,8	3,8
3.	lubelskie	25114,5	3386,7	13,5	456,4	1,8	1927,3	7,7	280,7	1,1	1307,3	5,2	219,6	0,9	3234,6	12,9	500,3	2,0
4.	lubuskie	13984,4	807,2	5,8	842,9	6,0	587,3	4,2	847,8	6,1	12,9	0,1	14,9	0,1	600,2	4,3	862,7	4,9
5.	łódzkie	18219,1	2139,9	11,7	442,1	2,4	771,0	4,2	287,2	1,6	78,9	0,4	16,8	0,1	849,9	4,7	304,0	1,7
6.	małopolskie	15144,1	1198,5	7,9	256,5	1,7	1712,5	11,3	1440,5	9,5	3116,0	20,6	848,2	5,6	4828,5	31,9	2288,7	15,1
7.	mazowieckie	35597,8	2641,1	7,4	539,4	1,5	1232,8	3,5	745,6	2,1	147,2	0,4	50,6	0,1	1380,0	3,9	796,2	2,2
8.	opolskie	9412,5	676,3	7,2	156,9	1,7	200,8	2,1	116,9	1,2	8,1	0,1	1,2	0,0	208,9	2,2	118,1	1,3
9.	podkarpackie	17926,3	1168,2	6,5	349,6	2,0	1084,0	6,0	832,4	4,6	2015,6	11,2	1052,3	5,9	3099,6	17,3	1884,7	10,5
10.	podlaskie	20179,6	2836,1	14,0	692,5	3,4	1488,9	7,4	479,2	2,4	51,2	0,2	13,2	0,1	1540,1	7,6	492,4	2,4
11.	pomorskie	18292,9	2235,9	12,2	1023,4	5,6	2409,0	13,2	1789,0	9,8	29,2	0,2	20,9	0,1	2439,2	13,2	1809,9	9,9
12.	śląskie	12294,4	1914,8	1,6	560,2	4,6	831,6	6,8	840,8	6,8	658,9	5,4	199,1	1,6	1490,5	12,1	1039,9	8,5
13.	świętokrzyskie	11672,3	2269,9	19,4	500,3	4,3	982,9	8,4	192,7	1,7	829,8	7,1	92,0	0,8	1812,7	15,5	284,7	2,4
14.	warmińsko-mazurskie	24203,0	2863,8	11,8	756,8	3,1	2566,9	10,6	872,0	3,6	10,0	0,0	9,5	0,0	2576,9	10,6	881,5	3,6
15.	wielkopolskie	29825,6	1977,1	6,6	650,4	2,2	1416,9	4,8	885,0	3,0	45,1	0,2	49,3	0,2	1462,0	4,9	934,3	3,1
16.	zachodniopomorskie	22901,5	2724,5	11,9	1401,1	6,1	1717,8	7,5	1355,0	5,9	4,0	0,0	2,3	0,0	1721,8	7,5	1357,3	5,9
	Polska	312685,0	32980,6	10,5	10138,8	3,2	22064,8	7,1	12390,2	4,0	8660,9	2,8	2939,6	0,9	30725,7	9,8	15329,8	4,9

Źródło: Józefaciuk i Józefaciuk, 1995 (18)

Dla działań gospodarczych ważna jest ocena zagrożenia erozją wodną rejonów przyrodniczych Polski (krajów fizjograficznych), ponieważ wskazuje na związek erozji z odrębnościami warunków przyrodniczych, struktury agrarnej i sposobów użytkowania ziemi.

Najsilniej zagrożone erozją wodną powierzchnią krainy fizjograficzne to: Beskid Żywiecki w województwie śląskim, Góry Świętokrzyskie i Wyżyna Sandomierska w woj. świętokrzyskim, Roztocze i centralny pas Wyżyny Lubelskiej w woj. lubelskim oraz Sudety w woj. dolnośląskim. Wymienione województwa są objęte drugim stopniem pilności ochrony przeciwerozyjnej gruntów – ochrona pilna. Taki sam stopień pilności ochrony występuje w województwach pomorskim i zachodniopomorskim. W sześciu pozostałych województwach: lubuskim, łódzkim, mazowieckim, opolskim, podlaskim i wielkopolskim – o równinnym charakterze rzeźby terenu, erozja średnia występuje na kilku procentach ogólnej powierzchni, a silna na poniżej 1%. Są to województwa o najmniej pilnej ochronie przed erozją.

Biorąc pod uwagę warunki regionalne (25), można wyróżnić cztery rozległe obszary – regiony o różnym stopniu zagrożenia erozją gleb, tj.: górski, pogórzy, wyżyn, pojezierzy.

Region górski. Bardzo silnie zagrożone erozją wodną są wszystkie górskie krainy karpaccie znajdujące się w południowej części województw podkarpackiego, małopolskiego i śląskiego. Potencjalna erozja gleb o stopniu silnym i średnim występuje na powierzchni krajów: Tatry, Beskidy Zachodnie – od około 80%, Bieszczady i Podhale – ok. 60%, Beskidy Środkowe – do ok. 50%. Mocno zagrożone są Sudety, gdzie erozja silna i średnia występuje na 45% całości obszaru. Takie zagrożenie przez erozję wodną regionu karpacciego i sudeckiego determinują bardzo duże wysokości względne (do ok. 2600 m n.p.m.), duże nachylenie stoków oraz wysokie roczne sumy opadów atmosferycznych (od 800 mm do 1800 mm, najczęściej powyżej 1000 mm). Zaznaczyć jednak należy, że pewna część zagrożonych terenów jest aktualnie chroniona przez trwałą szatę roślinną – przez lasy: ok. 40% w Bieszczadach, Tatrach i Beskidach Zachodnich, ok. 30% w Beskidach Środkowych i ok. 20% na Podhalu i w Sudetach, a przez łąki i pastwiska jeszcze dodatkowo ok. 10% (43).

W przypadku górskich gruntów ornych procesy erozji są w pewnym stopniu również ograniczone poprzecznością układu działek i znacznym udziałem roślin bobowatych w strukturze zasiewów oraz przewagą gleb pseudobielicowych i gleb wylugowanych o gliniastym składzie granulometrycznym, słabo podatnych na zmywy powierzchniowe.

Region pogórzy. Silnie zagrożone erozją wodną jest Pogórze Beskidzkie, gdzie erozja silna i średnia występuje na ok. 45% obszaru. Jest to uwarunkowane bardzo urozmaiconą rzeźbą terenu, dużymi spadkami stoków, rocznymi sumami opadów od 600 do 1000 mm oraz znaczną powierzchnią pokrytą najbardziej podatnymi na zmywanie powierzchniowe glebami lessowymi. W północnej części regionu występują gleby pseudobielicowe oraz gleby bielicowe wytworzone z lessów i utworów lessowatych.

W części południowej przeważa typ gleb pseudobielicowych i brunatnych wylugowanych wytworzonych z glin słabo podatnych na zmywy, lecz w części zachodniej duży udział mają gleby lessowe. Pogórze Sudecki jest średnio zagrożone. Erozja silna i średnia występuje na powierzchni powyżej 10% tego obszaru. W obu krainach lasy i trwałe użytki zielone chronią zaledwie po około kilka procent powierzchni zagrożonej erozją wodną gleb (43).

Region wyżyn. Wyżyna Lubelska wraz z Roztoczem, Niecka Nidziańska i Wyżyna Krakowsko-Częstochowska są silnie, a Wyżyna Kielecko-Sandomierska średnio zagrożone erozją wodną. Istotnie wysokie zagrożenie erozją wodą powierzchniową występuje również na lessowym obszarze Wzgórz Trzebnickich w woj. dolnośląskim (39). Wynika to z urozmaiconej rzeźby terenu, bardzo dużej podatności gleb lessowych na zmywy powierzchniowe, generalnie małej powierzchni lasów i trwałych użytków zielonych oraz z przewagi wzdłużstokowego układu działek. Na terenach erodowanych przeważają gleby pseudobielicowe i brunatne (właściwe i wylugowane) oraz czarnoziemy, wszystkie wytworzone z lessów. Należą one do kompleksów pszennego bardzo dobrego i dobrego. Roczna suma opadów w tym regionie wynosi ok. 600 mm.

Region pojezierzy obejmuje Pojezierza Wschodniobałtyckie oraz Pojezierza i Pobrzeża Południobałtyckie. Generalnie jest to obszar zagrożony erozją wodną w stopniu średnim, a tylko Pojezierza Suwalskie i Wschodniopomorskie w stopniu silnym. Młodooglacialna rzeźba terenu jest znacznie urozmaicona (24). Wierzchowiny zajmują niewielkie powierzchnie, a stoki są krótkie. Gleby są bardzo zróżnicowane typologicznie, przeważnie średnio i słabo podatne na zmywy powierzchniowe. Dominują gleby pseudobielicowe i gleby brunatne wylugowane, znacznie mniejszą powierzchnię zajmują gleby brunatne właściwe. Oba dominujące typy gleb są wytworzone z glin lekkich, piasków gliniastych na glinach, piasków słabo gliniastych średnio podatnych na zmywy i piasków luźnych silnie podatnych na zmywy. Przydatność rolnicza gleb jest bardzo zróżnicowana; występują takie kompleksy, jak: pszenny dobry, żytni bardzo dobry, żytni dobry, żytni słaby, żytni bardzo słaby, a lokalnie – pszenny wadliwy. Warunki agroklimatyczne są bardzo zróżnicowane. Tereny z agroklimatem korzystnym znajdują się w środkowej i zachodniej części obszaru i zajmują ok. 50% powierzchni. W omawianym regionie występuje 39,2% gruntów ornych, 13,7% użytków zielonych, 32,7% lasów i 2% jezior (15).

Ocena stanu zagrożenia gleb erozją wąwozową

Erozja wąwozowa występuje na ok. 18% powierzchni Polski, w tym największy obszar, ok. 11% (2,5 mln ha gruntów rolnych i 0,8 mln ha gruntów leśnych), zajmuje erozja słaba o gęstości wąwozów $0,1-0,5 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ (16). Znacznie mniejszy obszar, ok. 4% (1 mln ha gruntów rolnych i 0,3 mln ha gruntów leśnych), przypada na erozję średnią o gęstości wąwozów $0,5-1,0 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$. Obszar około 2% (0,6 mln ha gruntów rolnych i 0,15 mln ha leśnych) zajmuje erozja silna o gęstości wąwozów

1,0–2,0 km·km⁻². Na najmniejszym obszarze, poniżej 1% (0,1 mln ha gruntów rolnych i 25 tys. ha leśnych), występuje erozja bardzo silna o gęstości wąwozów powyżej 2,0 km·km⁻². Łączna długość wąwozów w Polsce wynosi ok. 40 tys. km (16, 21, 33).

Strukturę przestrzennego występowania sieci wąwozów na obszarze Polski i obszarach województw zobrazowano na rysunku 2, natomiast udział powierzchniowy i procentowy w jednostkach administracyjnych przedstawiono w tabeli 2.

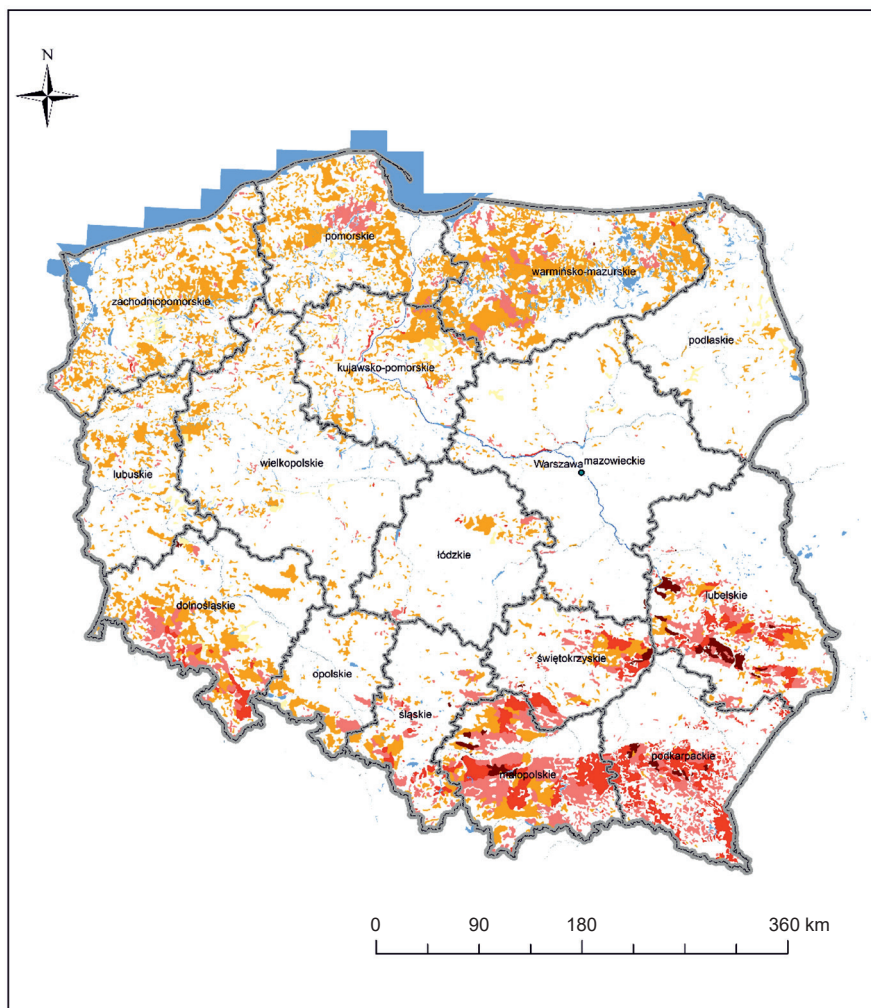
Najbardziej rozwiniętą sieć wąwozów ma woj. małopolskie, gdzie wąwozy występują na ok. 53% obszaru. Największy obszar (25%) zajmuje erozja wąwozowa średnia o gęstości wąwozów 0,5–1,0 km·km⁻², to jednak na 14% obszaru występuje erozja silna o gęstości wąwozów 1,0–2,0 km·km⁻², a na powyżej 1% obszaru – erozja bardzo silna o gęstości wąwozów powyżej 2,0 km·km⁻². Województwo to zaliczono do pierwszego stopnia pilności ochrony – zagospodarowanie wąwozów bardzo pilne. Silnie rozczłonkowane wąwozami jest woj. podkarpackie, w którym 24% obszaru ma gęstość wąwozów powyżej 0,5 km·km⁻², w tym aż 14% ma gęstość wąwozów 1,0–2,0 km·km⁻² (podobnie jak w woj. małopolskim).

Szczególny problem stwarza erozja wąwozowa w woj. lubelskim. Ma ona bowiem największy (spośród wszystkich województw) obszar (ok. 3%) rozczłonkowany wąwozami o gęstości powyżej 2,0 km·km⁻². Oprócz tego powyżej 4% obszaru ma gęstość wąwozów 1,0–2,0 km·km⁻², 7% obszaru – gęstość 0,5–1,0 km·km⁻², a tylko 6% obszaru – gęstość poniżej 0,5 km·km⁻². Duża gęstość wąwozów znajduje się także w woj. świętokrzyskim. Wąwozy występują tam na podobnej wielkościowo powierzchni jak w woj. lubelskim – ok. 20% obszaru. Również podobny obszar – 14% (jak w woj. lubelskim) jest rozczłonkowany siecią wąwozów o gęstości powyżej 0,5 km·km⁻², z tym że gęstość wąwozów powyżej 2,0 km·km⁻² zajmuje niecałe 1% obszaru. Ostatnie trzy województwa: podkarpackie, lubelskie i świętokrzyskie zostały zaliczone do drugiego stopnia pilności zagospodarowania wąwozów – zagospodarowanie pilne.










Pozostałe województwa mają trzeci stopień pilności przeciwdziałania erozji wąwozowej – zagospodarowanie wąwozów pilne lokalnie. W tych województwach wąwozy o gęstości powyżej 0,5 km·km⁻² występują na poniżej 10% powierzchni (15, 33).

Połowę ogólnej sieci wąwozowej w Polsce stanowią wąwozy drogowe, których łączna długość wynosi 19 100 km, a powierzchnia – ok. 17% ogólnej powierzchni wąwozów. Najwięcej wąwozów drogowych występuje w południowo-wschodniej oraz południowo-zachodniej części kraju, zwłaszcza w wyżynnych terenach lessowych. Największą gęstością wąwozów drogowych, powyżej 0,5 km·km⁻², charakteryzują się województwa: podkarpackie, małopolskie, dolnośląskie i świętokrzyskie.

Bardzo silnie rozczłonkowane siecią wąwozów są takie krainy, jak: Pogórze Beskidzkie, Sudety Wschodnie i Roztocze. Gęstość wąwozów powyżej 0,5 km·km⁻² występuje tam na powierzchni krain od 64% (Pogórze Zachodniobeskidzkie) do 32% (Sudety Wschodnie) użytków rolnych oraz od 22% (Sudety Wschodnie) do 9% (Pogórze Beskidzkie) powierzchni leśnych (16).



Legenda

 granica państwa	Erozja wązozowa
 granica województwa	 1 – erozja słaba
 główne rzeki	 2 – erozja umiarkowana
 jeziora	 3 – erozja średnia
	 4 – erozja silna
	 5 – erozja bardzo silna

Rys. 2. Mapa erozji wązozowej w Polsce

Źródło: zasoby własne, IUNG-PIB, Puławy

Tabela 2

Erozja wąwózowa w Polsce wg województw

Lp.	Województwo	Pow. ogólna wojew. km ²	Erozja wąwózowa w stopniu																													
			slabym						średnim						silnym						bardzo silnym						średnim-bardzo silnym					
			UR		Ls		%		UR		Ls		%		UR		Ls		%		UR		Ls		%		UR		Ls		%	
			km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%		
1.	dolnośląskie	19947,8	2646,1	13,3	720,0	3,6	928,5	4,7	398,0	2,0	358,7	1,8	228,6	1,1	14,8	0,1	4,1	0,0	1302,0	6,6	630,7	3,2										
2.	kujaawsko-pomorskie	17969,7	1924,8	10,7	394,8	2,2	191,7	1,1	26,7	0,1	66,6	0,4	20,3	0,1	-	-	-	-	258,3	1,4	47,0	0,3										
3.	lubelskie	25114,5	1276,3	5,1	130,0	0,5	1576,8	6,3	177,8	0,7	949,5	3,8	124,4	0,5	546,4	2,2	143,5	0,6	3072,7	12,2	445,7	1,8										
4.	lubuskie	13984,4	1007,6	7,2	851,6	6,1	46,8	0,3	21,0	0,2	2,3	0,0	5,5	0,0	4,7	0,0	-	-	53,8	0,4	26,5	0,2										
5.	łódzkie	18219,1	527,3	2,9	96,9	0,5	109,7	0,6	9,3	0,1	18,3	0,1	4,7	0,0	-	-	-	-	128,0	0,7	14,0	0,1										
6.	małopolskie	15144,1	1422,4	9,4	499,6	3,3	2756,2	18,2	952,2	6,3	1770,4	11,7	343,2	2,3	172,9	1,1	48,9	0,3	4699,5	31,0	1344,3	8,9										
7.	mazowieckie	35597,8	358,6	1,0	115,1	0,3	80,4	0,2	24,0	0,1	23,7	0,1	1,0	0,0	17,7	0,0	-	-	121,8	0,3	25,0	0,1										
8.	opolskie	9412,5	606,1	6,4	154,2	1,6	313,5	3,4	23,2	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	313,5	3,4	23,2	0,2										
9.	podkarpackie	17926,3	74,3	0,4	23,2	0,1	1215,1	6,8	432,1	2,4	1835,6	10,2	634,0	3,5	168,7	0,9	23,4	0,1	3219,4	18,0	1089,5	6,1										
10.	podlaskie	20179,6	515,4	2,6	177,7	0,9	18,3	0,1	1,4	0,0	5,2	0,0	4,0	0,0	-	-	-	-	23,5	0,1	5,4	0,0										
11.	pomorskie	18292,9	3126,5	17,1	1053,6	5,8	609,1	3,3	156,6	0,9	7,6	0,0	0,7	0,0	-	-	-	-	616,7	3,4	157,3	0,9										
12.	śląskie	12294,0	584,5	4,8	286,5	2,3	585,9	4,8	133,0	1,1	230,2	1,9	37,4	0,3	-	-	-	-	816,1	6,6	170,4	1,4										
13.	świętokrzyskie	11672,3	747,2	6,4	64,8	0,6	742,7	6,4	57,5	0,5	715,6	6,1	44,5	0,4	70,9	0,6	1,1	0,0	1529,2	13,1	103,1	0,9										
14.	warmińsko-mazurskie	24203,0	6096,3	25,2	1302,5	5,4	1014,8	4,2	251,2	1,0	27,1	0,1	1,7	0,0	-	-	-	-	1041,9	4,3	252,9	1,0										
15.	wielkopolskie	29825,6	1045,3	3,5	497,7	1,7	117,7	0,4	40,4	0,1	17,2	0,1	8,3	0,0	-	-	-	-	134,9	0,5	48,7	0,2										
16.	zachodniopomorskie	22901,5	3023,6	13,2	1381,4	6,0	192,9	0,8	90,7	0,4	10,1	0,0	7,9	0,0	-	-	-	-	203,0	0,9	98,6	0,4										
	Polska	312685,0	24982,3	8,0	7749,6	2,5	10500,1	3,4	2795,1	0,9	6038,1	1,9	14662,0	0,5	996,1	0,3	221,0	0,1	17534,3	5,6	4482,3	1,4										

Źródło: Józefaciuk i Józefaciuk, 1995 (18)

Największą gęstość sieci wąwozowej w omawianych krainach determinują: silnie wykształcona rzeźba terenu z dużymi deniwelacjami, występowanie na znacznym obszarze gleb wytworzonych z lessów (Pogórze Beskidzkie, Roztocze) oraz duże opady roczne ze znaczną częstotliwością ulew letnich.

Silnie rozczłonkowane wąwozami są także jednostki górskie, jak: Beskidy, Tatry i Sudety (Środkowe i Zachodnie) oraz jednostki wyżynne, jak: Niecka Nidziańska oraz Wyżyny Lubelska i Zachodniowołyńska. Wielkość obszarów z gęstością wąwozów powyżej $0,5 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ waha się tam w granicach od 40% (Beskidy Zachodnie) do 25% (Wyżyna Zachodniowołyńska). Wąwozy rozcinają od 39% (Niecka Nidziańska) do 20% (Bieszczady) użytków rolnych i od 26% (Beskidy Zachodnie), 12% (Beskidy Środkowe) do kilku procent (Niecka Nidziańska i Wyżyna Lubelska) powierzchni leśnych.

Czynnikami wąwozotwórczymi w wymienionych krainach górskich są duże opady roczne oraz znaczne deniwelacje i spadki terenu, a w krainach wyżynnych – przewaga gleb wytworzonych z lessów i zróżnicowana rzeźba terenu.

Średnio rozczłonkowane wąwozami są: Pogórze Zachodniosudeckie, Kotlina Ostrawska i Brama Krakowska, Wyżyny Krakowsko-Częstochowska i Kielecko-Sandomierska oraz Pojezierze Wschodniopomorskie. Obszary z gęstością wąwozów powyżej $0,5 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ wynoszą tam od 23% (Kotlina Ostrawska) do 10% (Pojezierze Wschodniopomorskie). Wąwozy występują na użytkach rolnych od 40% (Pojezierze Wschodniopomorskie, Kotlina Ostrawska i Pogórze Zachodniosudeckie) do ok. 13% (Brama Krakowska), a na gruntach leśnych od ok. 10% (Pojezierze Wschodniopomorskie) do 2% (Brama Krakowska, Wyżyna Kielecko-Sandomierska i Kotlina Ostrawska). Powstawaniu wąwozów sprzyjają: zróżnicowana rzeźba terenu i znaczne opady – na terenach pogórza, kotlin karpaccich i pojezierzy oraz występowanie gleb wytworzonych z lessów i zróżnicowana rzeźba – na terenie wyżyn.

Słabo rozczłonkowany wąwozami jest pozostały teren Polski Środkowej. Wąwozy o gęstości powyżej $0,5 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ występują w kilkunastu krainach na powierzchni co najwyżej do 10%, a w pozostałych – sporadycznie.

Środowiskowe skutki erozji wodnej na terenach rolniczych i leśnych

Erozja wodna gleb jest jednym z czynników degradujących środowisko przyrodnicze, zwłaszcza rolniczą przestrzeń produkcyjną. Jej skutki przejawiają się w niekorzystnych, przeważnie trwałych zmianach warunków przyrodniczych (rzeźby terenu, gleb, stosunków hydrologicznych, naturalnej roślinności) i gospodarczo-organizacyjnych (deformowanie granic i rozczłonkowanie pól, pogłębianie dróg rolniczych, niszczenie urządzeń technicznych). Zmiany takie prowadzą do obniżenia potencjału produkcyjnego i walorów przyrodniczych terenów podlegających erozji gleb.

O rozmiarach degradowania środowiska przez erozję wodną świadczą średnie roczne straty gleby, które dla Polski oszacowano na $76 \text{ Mg} \cdot \text{km}^{-2}$ (15, 16). Dla Europy wielkość ta szacowana jest na $84,7 \text{ Mg} \cdot \text{km}^{-2}$ (9). Zróżnicowanie regionalne

czynników decydujących o natężeniu erozji w naszym kraju skutkuje stratami gleby szacowanymi na od $2,7 \text{ Mg} \cdot \text{km}^{-2}$ na Nizinach Środkowopolskich do $280 \text{ Mg} \cdot \text{km}^{-2}$ w Karpatach Fliszowych (28).

Najsilniej degradowane erozją wodną są obszary górskie i podgórskie. Na przykład na bezleśnych terenach Beskidów i rolniczo użytkowanych terenach Pogórzy Karpackich denudacja mechaniczna kształtuje się na poziomie $100\text{--}280 \text{ Mg} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$, czyli tracona warstwa gleby wynosi $0,01\text{--}5,2 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$. Silnie niszczone są również wyżyny lessowe południowowschodniej Polski ($40\text{--}50 \text{ Mg} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$, co stanowi warstwę $0,01\text{--}0,24 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$). Ziemiński (45) podaje, że w małych gospodarstwach chłopskich rocznie warstwa zmytej gleby na stokach lessowych wynosiła 5 mm, a Mazur i Pałys (30) wykazali 2 mm zmytej gleby podczas jednego spływu powierzchniowego. Jeszcze większe rozmiary denudacji stoków lessowych w wyniku erozji odnotowali Józefaciuk i Józefaciuk (17) w gospodarstwie RZD w Werbkowicach k. Hrubieszowa. W okresie 30 lat miąższość wyerodowanej pokrywy glebowej ze zbocza dochodziła miejscami do 3,5 m, a gleby namytej w dolinki do 2,0 m. Zbocza średnio obniżyły się o 62 cm. Największą jednak erozję powodują gwałtowne ulewy, nawet jesienne. Jako przykład można podać skutki wrzesniowej ulewy (38,4 mm w ciągu 30 minut) w 1974 roku w wielkoobszarowym gospodarstwie Olszanka k. Krasnegostawu (13). Na 34 ha polu obsianym rzepakiem zostały rozmyte na głębokości 40–60 cm wszystkie koleiny po ciągniku i siewniku. Z pomiaru żłobin obliczono, że z tego pola została zmyta 8,2 cm warstwa gleby (ponad 28 tys. m^3), z czego tylko 3% osadziło się w dolinach śródpolnych, a pozostała część spłynęła do rzeki Wojsławki, przy czym dnem dolinek płynęły rwące potoki o natężeniu przepływu ok. $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Degradowanie gleb przez procesy erozji wodnej powierzchniowej (zmywy i żłobienie) powoduje:

- zróżnicowanie właściwości gleb – zmiany składu granulometrycznego, właściwości fizykochemicznych i wodnych oraz aktywności mikrobiologicznej, w większości niekorzystne dla wartości użytkowej;
- zmiany morfologii gleb – zdzieranie lub zwiększanie miąższości określonych poziomów genetycznych, a przez to redukowanie lub nieproduktywne nadbudowanie profilu glebowego;
- zmiany wartości wierzchniej (urodzajnej) warstwy gleb – zróżnicowanie ogólnej zawartości i składu próchnicy oraz miąższości poziomu orno-próchnicznego (19, 21, 47).

W wyniku procesów erozyjnych tworzą się gleby o typologicznie niewykształconym profilu, ciągle odmładzane, tj.:

- gleby słabo zmywane – o poziomie próchnicznym splukiwanym przez zmywy powierzchniowe;
- gleby średnio zmywane – o zredukowanym w całości poziomie próchnicznym i w części zredukowanym poziomie głębszym. Istniejący poziom orno-próchniczny jest wytwarzany z poziomów środkowych;

- gleby silnie zmyte – o zredukowanym całym profilu, a nawet części skały macierzystej. Poziom orno-próchniczny jest wytworzony bezpośrednio z podłoża;
- gleby rozmywane – z powierzchni których skoncentrowany spływ powierzchniowy wody lokalnie usuwa selektywnie materiał glebowy, tworząc różnego rodzaju duże żłobiny, wyrwy, a nawet wąwozy.

Erozja wodna powierzchniowa przyczynia się do przekształcania rzeźby terenu – tworzenia falistości zboczy, powstawania skarp, obniżeń śródboczowych i stożków napływowych. Powoduje również łagodzenie rzeźby – obniżenie lokalnych wyniosłości i podwyższenie den dolin.

Erozja wodna powierzchniowa wywiera poważny wpływ na kształtowanie się stosunków wilgotnościowych gleb na stokach. Gleby na wierzchowinach, przeważnie słabo erodowane, są zwykle optymalnie uwilgotnione. Natomiast położone na zboczach gleby zmywane mają często zupełnie zredukowany poziom próchniczny i warstwę uprawną wytworzoną z podłoża. Przyczyną tego jest ich zmniejszona przepuszczalność i pojemność wodna, poważnie obniżające wielkości infiltracji, a nasilające spływy powierzchniowe. Z kolei wilgotność gleb na podnóżach stoków i w dolinach zależy od składu granulometrycznego namywanego materiału. Jeżeli na gleby związane namywany jest materiał drobnoziarnisty, zwłaszcza o dużej zawartości cząstek spławianych, to stają się one zlewne, podmokłe i bardzo wolno obsychają. Natomiast namywany materiał piaszczysty będzie rozluźniał strukturę i polepszał warunki powietrzno-wodne, oczywiście o ile zostanie przemieszczony z glebą podczas uprawy roli. W przypadku gleb luźnych namycie cząstek pyłowych i koloidalnych będzie poprawiało pojemność wodną. Przestrzenne zróżnicowanie wilgotności gleb jest tym większe, im bardziej jest urozmaicona rzeźba terenu i im większe nasilenie erozji. Tak zróżnicowana wilgotność gleb utrudnia uprawę roli i obniża efekty produkcyjne. Jest to widoczne zwłaszcza na dużych polach obejmujących powierzchnie o dużej konfiguracji – wierzchowiny, zbocza o różnej ekspozycji i spadku, zagłębienia i dolinki. Zróżnicowanie wilgotności gleb na poszczególnych elementach rzeźby opóźnia terminy prac agrotechnicznych i ich jakość, ponieważ gleby na podnóżach i w dolinach znacznie później obsychają. Podobnie przedstawia się zbiór plonów. Na przykład zboża na zboczach o ekspozycji osłonecznionej dojrzewają od kilku do kilkunastu dni wcześniej niż na zboczach zacienionych i w dolinach.

Skutki erozji wąwozowej chociaż mają lokalny zasięg, to powodują poważne szkody przyrodnicze i gospodarcze. Występowanie wąwozów świadczy o bardzo intensywnych procesach erozji wodnej i jest wskaźnikiem silnego zdegradowania danego ekosystemu – znacznego pogorszenia jego przyrodniczych, technicznych i użytkowych wartości. Przy bardzo dużej gęstości wąwozów następuje totalna destrukcja rzeźby i gleby oraz stosunków wodnych. Wówczas takie tereny nazywa się złą ziemią (ang. *badland*), a erozję, która doprowadziła do takiego stanu – erozją piracką (ang. *piracy erosion*).

Wąwozy oddziałują negatywnie i powodują szereg utrudnień, tj.: rozczłonkują teren, przyczyniają się do tworzenia pól o nieregularnych kształtach, utrudniają transport i mechanizację zabiegów agrotechnicznych (fot. 1). W wyniku drenującego działania wąwozów osuszane są przyległe tereny zboczowe, a materiałem ziemnym wymywanym z wąwozów zamulane są użytki rolne, urządzenia melioracyjne i drogowe oraz ciek i zbiorniki wodne. Stożki napływowe tworzące się u wylotu wąwozów w dolinach śródpolnych i rzecznych wpływają niekorzystnie na gospodarkę wodną. Powyżej stożka namywowego zmniejsza się podłużny spadek rzeki i następuje zabagnienie terenu, a poniżej stożka spadek rzeki wzrasta, koryto pogłębia się, następuje przesuszenie łąk i ich zamiana na grunty orne. Usuwa to ostatnią barierę ochronną oddzielającą erodowane stoki od cieków wodnych. Wąwozy są często siedliskiem chwastów i szkodników stanowiących zagrożenie dla upraw polowych.



Fot. 1. Wąwozy po jednej 30-minutowej ulewie

Źródło: zasoby własne, IUNG-PIB, Puławy

Transport wąwozami drogowymi jest utrudniony ze względu na strome dojazdy na przyległe pola ograniczające wielkość przewożonego ładunku, małą szerokość jezdni, strome skarpy i brak mijanek, co doprowadza do kolizji w przypadku spotkania się pojazdów nadjeżdżających z przeciwnych stron. Wąwozy drogowe są okresowo nieprzejezdne wskutek zasypania śniegiem lub intensywnego rozmycia jezdni i wymagają częstych napraw. To powoduje, że przy krawędzi wąwozów tworzone są drogi zastępcze, które w miarę użytkowania również przekształcają się w wąwozy (fot. 2).



Fot. 2. Grunty zdewastowane przez wąwozy drogowe

Źródło: Józefaciuk i Józefaciuk, 1996 (19)

Gęsta sieć wąwozów drogowych będąca wynikiem rozdrobnienia gospodarstw, szachownicy gruntów, wzdłużstokowego układu działek i ich rozproszenia bardzo utrudnia przeprowadzenie scaleń, zwłaszcza z uwzględnieniem zasad melioracji przeciwoerozyjnych. Erozja wąwozowa jest więc czynnikiem ograniczającym, a w szeregu przypadkach uniemożliwiającym intensyfikację produkcji rolniczej, a niekiedy w ogóle użytkowanie gruntów. Jest również przyczyną niesprawnego działania oraz niszczenia urządzeń melioracyjnych i wodnych, a przez to doprowadza do częstej ich renowacji, powodując zwiększenie nakładów finansowych na utrzymanie tych urządzeń.

Erozja wąwozowa najsilniej degraduje najcenniejsze dla rolnictwa tereny wyżynne o glebach wytworzonych z utworów lessowych. Wąwozy stanowią również poważny problem w terenach górskich i podgórskich, zwłaszcza wąwozy drogowe. Gęsta sieć zagłębionych dróg odgrywa podobną rolę jak suche doliny, które w aspekcie gospodarki wodnej i przeciwdziałania erozji potrafią czynić szkody w geomorfologicznym środowisku stokowym. Przyspieszają bowiem one spływy powierzchniowe i śródpokrywowe, które są bezpośrednią przyczyną wielkich wezbrań w rzekach. Wcięcia drogowe biegnące z góry na dół do potoku odprowadzają duże ilości zawiesin, a serpentynowo wspinające się na stoki górskie odprowadzają w szybkim tempie nadwyżki wody zmagazynowane w pokrywach zwietrzelinowych. Głębokie rozcięcia drogowe są głównymi „producentami” rumowiska rzecznego w górach. Badania wykazały, iż spływy drogami wód pochodzących z ulewnych deszczów powodują znaczne zmiany w korycie drogi i wzmożony transport zawiesiny ze zlewni, której ilość może przekraczać nawet $10 \text{ Mg} \cdot \text{km}^{-2}$ (32).

Ilości rumowiska wyerodowanego z wąwozów są bardzo duże. Na przykład ogólną objętość rumowiska pochodzącego z wąwozów obszaru Lubelszczyzny szacuje się na 250 mln m³, co daje 19 239 m³·km⁻² (29). Średni wskaźnik kubatury rumowiska wymytego z wąwozów na Roztoczu Zachodnim określono na 176 380 m³·km⁻², a razem z zachodnią częścią Płaskowyżu Nałęczowskiego (na łącznym obszarze ok. 850 km²) na 156 000 m³·km⁻² (4).

Objętość rumowiska odprowadzanego z wąwozów lessowych i tempo jego transportowania może kształtować się różnie, od 235 m³ na dwa lata do 3 760 m³ na 3 lata. Czasami jednak rozmiary transportu mogą być katastrofalne i wynosić nawet kilkaset m³ podczas jednej ekstremalnej ulewy.

Erozji wąwozowej często towarzyszy sufozja mechaniczna. Powoduje ona tworzenie się podziemnych korytarzy przywąwozowych, a po ich zapadnięciu – powstawanie dołów i studni sufozyjnych.

Metody przeciwdziałania degradacji gleb przez erozję

Obszary zagrożone erozją gleb, zwłaszcza tereny z erozją średnią, silną i bardzo silną wymagają stosowania specjalnych działań prewencyjnych i rehabilitacyjnych, jakimi są melioracje przeciwoerozyjne i agrotechnika przeciwoerozyjna. Melioracje przeciwoerozyjne i agrotechnika przeciwoerozyjna to nie tylko ochrona gleb i gruntów przed erozyjną degradacją i dewastacją, ale równocześnie najtańszy sposób walki z suszą, stepowaniem i powodzią (22).

Do głównych celów melioracji przeciwoerozyjnych oraz agrotechniki przeciwoerozyjnej zaliczamy: ograniczenie występowania i zmniejszenie nasilenia procesów erozyjnych, zachowanie potencjału produkcyjnego gleb i niedopuszczenie do jego niekorzystnych przemian oraz wydłużenie obiegu wody w krajobrazie i przeciwdziałanie deformacyjnym zmianom hydrografii i hydrologii cieków rzecznych.

Zabiegi melioracji przeciwoerozyjnych

Melioracje przeciwoerozyjne to jedna z podstawowych metod przeciwdziałania degradacji gleb przez erozję.

Główne cele melioracji przeciwoerozyjnych to:

- ograniczenie występowania procesów erozyjnych i ich zmniejszenie nasilenia;
- zachowanie potencjału produkcyjnego gleb i niedopuszczenie do jego niekorzystnych przemian;
- wydłużenie obiegu wody w krajobrazie i przeciwdziałanie deformacyjnym zmianom hydrografii i hydrologii cieków rzecznych;
- poprawienie ekotechnicznych warunków użytkowania ziemi, włącznie z rekultywacją gruntów zdewastowanych.

Poniżej omówiono podstawowe zabiegi przeciwoerozyjne.

Rozmieszczenie użytków. Dla terenów wyżyn południowo-wschodnich nie ma dotychczas ustalonej granicy rolno-leśnej i struktury użytków, uwzględniającej ochronę gleb przed erozją. Jest to obszar intensywnego rolnictwa, który ze względu na dobre gleby został silnie wylesiony. Lasy w niektórych regionach wyżynnych zajmują zaledwie kilka procent ogółu gruntów. Jednak radykalne zwiększenie powierzchni leśnej nie ma tu gospodarczego uzasadnienia. Szerzej natomiast powinno się uwzględnić różnego typu zadrzewienia o charakterze fitomelioracyjnym, przeciwdziałające erozji wodnej i wietrznej. Zadrzewiać należy przede wszystkim zbocza o nachyleniu powyżej 35%, bez względu na rodzaj gleb, a także zbocza o mniejszym nachyleniu, powyżej 20%, ale silnie wyerodowane, na których regeneracja gleb jest trudna i bardzo powolna ze względu na tereny bardzo silnie pocięte wąwozami. W terenach wyżynnych szczególną rolę w ochronie gleb przed erozją, a także w intensyfikacji rolnictwa mogą odegrać zadrzewienia sadownicze – zarówno duże sady produkcyjne, jak i małe plantacje drzew i krzewów owocowych oraz krzewów dla celów farmacji.

Typowanie gruntów pod uprawy polowe powinno uwzględniać nachylenie zboczy, zróżnicowanie mikrorzeźby, rodzaj gleb i stopień ich wyerodowania oraz strukturę agrarną. Grunty orne w gospodarstwach wielkoobszarowych mogą występować na stokach o nachyleniu przeważnie do 20%, a w gospodarstwach indywidualnych na nieco większych spadkach, ale pod warunkiem starsowania zboczy.

Trwałe użytki zielone w terenach wyżynnych również spełniają ważną funkcję przeciwoerozyjną i gospodarczą. Powinny przede wszystkim zajmować doliny rzek a ponadto należy je lokalizować na dnach dolin smużnych, w których koncentrują się okresowo spływy powierzchniowe i ewentualnie na stromych zboczach o nachyleniu do 25%, lecz o glebach średnio zwięzłych i zwięzłych.

Układ działek i pól. Poprzecznostokowy układ działek i pól (fot. 3) jest uznawany za podstawowy zabieg przeciwoerozyjny, przy czym im pola są węższe, tym ich funkcja ochronna większa. Podłużny spadek pól poprzecznostokowych w zasadzie nie powinien przekraczać 3°. Spadki większe niż 3° są dopuszczalne, ale tylko na krótkich odcinkach, aby nie doprowadzić do nadmiernej koncentracji powierzchniowych spływów wody. Poprzecznostokowy układ pól w miarę upływu lat coraz lepiej spełnia funkcję przeciwoerozyjną – granice przekształcają się w skarpy, a poprzeczny spadek poszczególnych pól zmniejsza się. Przyjęto, że układ taki zmniejsza nasilenie erozji o 2°.

Skośnostokowy układ pól jest uważany za układ pośredni, pomiędzy poprzeczostokowym a wzdłużstokowym. Taki układ prowadzi niekiedy do koncentracji spływu wód powierzchniowych i zwiększenia szkód erozyjnych. Z tych względów nie przypisuje się mu żadnej funkcji ochronnej i traktujemy go tak, jak układ wzdłużstokowy.



Fot. 3. Poprzecznostokowy układ działek i pól

Źródło: Józefaciuk i Józefaciuk, 1999 (22)

Poprzecznostokowe tarasy na gruntach ornych (fot. 4), zarówno te ukształtowane od razu, jak i naorywane, zmniejszają spadek poprzeczny pól i skracają długość zboczy. Ograniczenie nasilenia erozji zależy od szerokości ław tarasów oraz ich spadku w stosunku do pierwotnego nachylenia zbocza i oczywiście od prawidłowego umocnienia skarp. Przyjęto, że prawidłowo ukształtowane i umocnione tarasy na gruntach ornych zmniejszają nasilenie erozji o 3 stopnie.



Fot. 4. Poprzecznostokowe tarasy na gruntach ornych

Źródło: zasoby własne, IUNG-PIB, Puławy

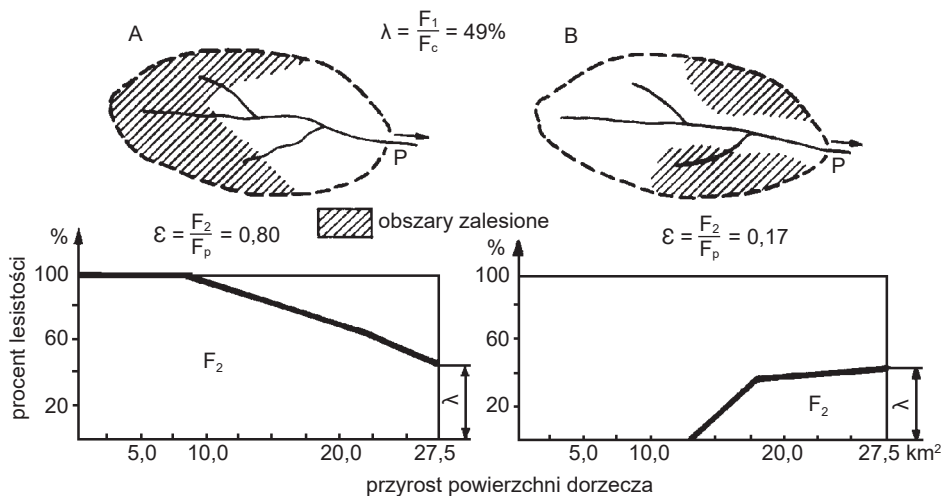
Korekta granicy rolno-leśnej. Grunty na stromych zboczach, silnie degradowane przez erozję wodną, powinny być wyłączone z ornego użytkowania i w większości przeznaczone pod zalesienia lub trwałe użytki zielone. Do wyłączenia zboczy o nachyleniu ponad 21% z ornego użytkowania obowiązuje również Rozporządzenie Ministra Rolnictwa z dnia 5 lipca 1979 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy eksploatacji ciągników i maszyn rolniczych (37). Wydaje się, że na stokach o glebach wytworzonych z głębokich lessów, ze względu na duży potencjał produkcyjny i szybką regenerację gleb ze skały lessowej, to graniczne nachylenie można zwiększyć do 27%, zastosować poprzecznostokowy układ pól i wytwarzać przez orkę tarasy naorywane o nachyleniu ław tarasów poniżej 15%. Natomiast na płytkich rędzinach i glebach szkieletowych graniczne nachylenia można obniżyć do 17%. Fragmenty zboczy o nachyleniu większym od granicznego nachylenia należy przeznaczyć pod zalesienia, a wyjątkowo pod zagospodarowanie pastwiskowe.

Lasy zabezpieczają nie tylko powierzchnię, na której występują, ale również tereny przyległe. Dlatego ich rozmieszczenie w terenach silnie urzeźbionych ma bardzo istotne znaczenie. Przedstawia to *Lambor* (27) za pomocą wskaźnika rozwinięcia lesistości (rys. 3). Obie zlewnie w podanym przykładzie mają jednakową lesistość (49%), ale różne rozmieszczenie powierzchni zalesionych. Lasy w zlewni A są zlokalizowane w górnej części, a w zlewni B – w dolnej. W związku z tym wskaźnik rozwinięcia lesistości jest różny i wynosi 80% w zlewni A i zaledwie 17% w zlewni B. Rozmieszczenie lasów w zlewni A jest prawidłowe, ponieważ wody z górnej, zalesionej części zlewni spływają do rzeki z opóźnieniem, czyli wówczas, kiedy wody z pól uprawnych już odpłynęły. Natomiast rozmieszczenie lasów w zlewni B jest niekorzystne, ponieważ wody spływające z górnej, niezalesionej części zlewni i z dolnej zalesionej dopływają w tym samym czasie do dolnego odcinka rzeki, powodując wezbranie powodziowe.

Właściwości ochronne lasu zależą od takich cech, jak: zwarcie drzewostanu, piętrowa budowa, skład gatunkowy, wiek i sposób eksploatacji. Najlepszą ochronę gleb przed erozją zapewniają lasy liściasto-iglaste lub liściaste o zwartej, wielopiętrowej budowie, właściwie pielęgnowane, z gatunków dostosowanych do siedliska i o dużej miąższości ściółki. W terenach zagrożonych silną erozją wodną lub wodno-grawitacyjną (ruchami mas ziemnych) funkcja ochronna lasu powinna być bardziej preferowana od funkcji produkcyjnej. Dlatego w takich lasach powinno się prowadzić właściwą eksploatację. Rębina całkowita, zwłaszcza na większych powierzchniach jest niedopuszczalna, a grabienie ściółki zabronione. Wywóz drewna powinien odbywać się specjalnie urządzonymi drogami lub kolejkami linowymi. Spuszczanie ściętych pni po stokach, praktykowane często w górach, powoduje powstawanie rynien, które następnie łatwo rozmywane są przez spływające wody i przekształcane w wąwozy.

Lasy powinno się lokalizować na gruntach podlegających silnej i bardzo silnej erozji, których nie da się zabezpieczyć, jeżeli będą użytkowane rolniczo oraz na gruntach zdewastowanych przez erozję i trudnych do rekultywacji i zagospodarowania

rolniczego, a także na glebach bardzo słabej jakości, mało przydatnych dla rolnictwa. Jednak na terenach wyżynnych zalesianie większych powierzchni napotyka na wiele trudności, dlatego ochronną funkcję lasu powinny przejąć zadrzewienia leśne lub sady.



Legenda: λ – wskaźnik lesistości; ϵ – wskaźnik rozwinięcia lesistości; A – właściwy układ lasów w zlewni; B – wadliwy układ lasów w zlewni; F_1 – powierzchnia zalesiona; F_2 – powierzchnia poniżej wykresu; F_c – powierzchnia zlewni; F_p – powierzchnia prostokąta diagramu.

Rys. 3. Określenie wskaźnika lesistości

Źródło: Lambor, 1971 (27)

Planowanie dróg rolniczych z uwzględnieniem rzeźby terenu. Sieć dróg rolniczych w Polsce kształtowana przez stulecia w drodze podziałów własnościowych, mimo dużej gęstości jest generalnie mało funkcjonalna i niedostosowana do współczesnych środków transportu oraz maszyn i narzędzi rolniczych. Występujący na terenach wiejskich ruch samochodowy i ciągnikowy wymusza modernizację już istniejących dróg rolniczych i budowę nowych, zwłaszcza na terenach wyżynnych i podgórskich.

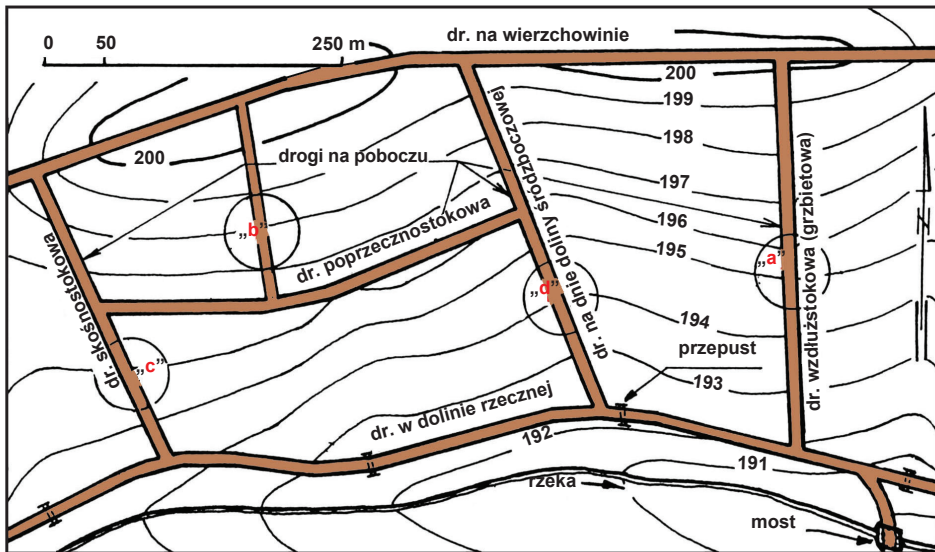
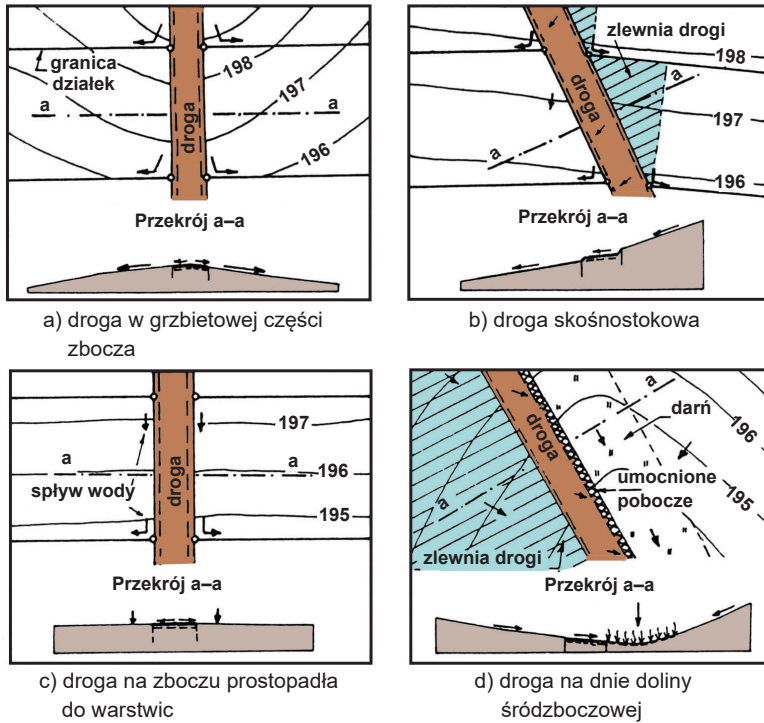
Nadrzędnym celem prac związanych z kształtowaniem sieci dróg rolniczych jest zapewnienie poprawnych warunków trakcyjnych przez cały rok. Dlatego właściwie zaplanowany układ komunikacyjny na terenach rolniczych stanowi jeden z podstawowych elementów prac urządzenioworolnych. Szczególne zasady powinny obowiązywać przy planowaniu dróg rolniczych na intensywnie użytkowanych rolniczo terenach wyżynnych zagrożonych erozją, gdzie wiele dróg przekształca się w wąwozy.

Na stokach o nachyleniu do 6% istniejących modernizowanych i nowo projektowanych dróg rolniczych o podłużnych spadkach niwelety do 4% można nie umacniać.

Natomiast na drogach o podłużnych spadkach powyżej 4% powinno się utwardzać jezdnię i umacniać urządzenia odprowadzające wodę ze spływów powierzchniowych, a po upływie kilku lat (od 5 do 10) ulepszać nawierzchnię pasa drogowego. W terenach bardziej urzeźbionych drogi na zboczach mają podłużne spadki niwelety nawet do 14%. Jednak nie można z takich dróg zrezygnować, ponieważ łączą one drogi usytuowane w dolinach i na wierzchowinach oraz obsługują przyległe pola. Drogi (na zboczach) o nawierzchni gruntowej ulegają przekształcaniu się w wąwozy drogowe, średnio 4,5 cm na rok, natomiast w warunkach ekstremalnych pogłębienie dochodzi do 9,0 cm na rok. Aby zmniejszyć rozmywanie dróg gruntowych na zboczach, należy sytuować je w grzbietowych częściach zboczy na tzw. lokalnych wododziałach o najmniejszej koncentracji wód powierzchniowych. Natomiast na zboczach o nachyleniu powyżej 14% powinno się projektować drogi poprzecznie i ukośnie do stoku w celu zmniejszenia spadku podłużnego niwelety drogi (rys. 4). Drogi tak usytuowane mają jednak duże zlewnie, a płynące nimi wody okresowe znacznie je erodują – rozmywy dna dochodzą nawet do ponad 1 m. Dla uniknięcia tego rodzaju zniszczeń, drogi powinno się lokalizować w dolinach śródboczowych, przestrzegając zasady, aby pas drogowy był poza zasięgiem skoncentrowanego spływu wód powierzchniowych. Ponadto należy unikać zbędnego przekraczania dolin, ponieważ wymaga to budowania przepustów drogowych i urządzeń odwadniających.

Drogi rolnicze usytuowane w dolinach rzek w znikomym stopniu są narażone na procesy erozyjne ze względu na niewielkie podłużne spadki niwelety. Drogi te charakteryzują się dużą liczbą krzywizn w planie sytuacyjnym i wieloma obiektami odwadniającymi, jakimi są rowy, przepusty i mosty. Powinny być one również umacniane, ewentualnie ulepszone, ponieważ są zwykle zlokalizowane wzdłuż zabudowy wiejskiej zwartej lub kolonijnej, gdzie występuje intensywny ruch samochodowy i ciągnikowy z osprzętem rolniczym.

Drogi na wierzchowinach cechują się niewielkimi spadkami podłużnymi niwelety, małymi zlewniami i nie podlegają erozji. Dlatego nawierzchnie takich dróg można zadarniać, jeżeli są to drogi polowe (technologiczne).



Rys. 4. Usytuowanie dróg w rzeźbie terenu

Źródło: Nowocień, 2008 (33)

Fitomelioracje przeciwoerozyjne. Fitomelioracyjne przeciwoerozyjne zadrzewienia leśne w rejonach nadmiernie wylesionych i o zachwianej równowadze biocenotycznej mają do spełnienia wielorakie funkcje – od glebochronnych, wodochłonnych i przeciwwietrznych, które łącznie można określić jako przeciwoerozyjne, do poprawiających deficyty wodne, równowagę biocenotyczną, warunki agroklimatyczne i walory krajobrazowe.

Zadrzewienia fitomelioracyjne ze względu na położenie dzieli się na śródpolne, śródłukowe, przydrożne, przywodne, osiedlowe (pryzagrodowe), a ze względu na układ przestrzenny mogą być powierzchniowe, kępowe, grupowe, pasowe, szeregowo i jednostkowe. Właściwości ochronne zależą od usytuowania zadrzewień – przy erozji wodnej względem rzeźby i spadków terenu, a przy erozji wietrznej względem kierunku dominujących (erozjotwórczych) wiatrów. Ważna jest również budowa zadrzewień – poziomy i pionowy układ drzew i krzewów, skład gatunkowy, więźba. W ograniczeniu nasilenia erozji wietrznej najkorzystniejsze są ażurowe zadrzewienia pasowe oraz zadrzewienia szeregowe, które zmniejszają siłę wiatru w pasie przyległym o szerokości równej około 30-krotnej wysokości zadrzewień. Przy ograniczeniu erozji wodnej funkcja zakrzewień szeregowych i wąskopasowych jest minimalna i należałoby wprowadzać raczej zadrzewienia powierzchniowe lub zalesienia, co łączy się z wyłączeniem z użytkowania rolniczego znacznych terenów. Zadrzewienia fitomelioracyjne mają wybitnie regionalny charakter i powinny być realizowane po wykonaniu wnikliwych studiów terenowych z określeniem niekorzystnych kierunków zmian środowiska przyrodniczego, które chcemy poprawić i przebudować. Należy pamiętać jednak, że zadrzewienia leśne oprócz korzystnych funkcji powodują wyłączenie części gruntów z użytkowania rolniczego, a na powierzchniach bezpośrednio przyległych do zadrzewień prowadzą również do wyraźnego spadku plonowania roślin polowych, podczas gdy wzrost plonów w dalszych odległościach od zadrzewień nie jest jeszcze udowodniony.

Przy zalesianiu stromych zboczy należy wyorać w odstępach około 2 m poprzecznościowe bruzdy chłonne z odkładaniem skib w dół zbocza. Celem bruzd, w których będą sadzone drzewa i krzewy jest przechwytywanie powierzchniowych spływów wody i zwiększenie wilgotności gleby. Ważne jest, aby bruzdy były wyorane w poziomie. Proponujemy, aby pierwsze bruzdy w odstępach około 20 m wytyczyć dokładnie w poziomie przy użyciu niwelatora, a następne wyorać jako równoległe do nich. Jeżeli są trudności z wytyczaniem przy użyciu niwelatora bruzd ściśle poziomych, to korzystniej jest naorywać bruzdy przerywane. Dobór drzew i krzewów do zalesienia stromych zboczy zależy od rodzaju gleb oraz ekspozycji zboczy i może być taki sam jak przy zalesianiu wąwozów. Warto również użyć do nasadzeń wartościowych gatunków drzew i krzewów dobrze rosnących w danym regionie.

Sady i zadrzewienia sadownicze podobnie jak zadrzewienia leśne wpływają na kształtowanie warunków przyrodniczych i ograniczenie nasilenia procesów erozyjnych. Przeciwoerozyjne, racjonalne zagospodarowanie sadownicze wymaga jednak

dużych nakładów inwestycyjnych, zwiększonych w stosunku do zakładania sadów na terenach płaskich o wydatki związane z równaniem terenu i tarasowaniem zboczy. Zagospodarowanie takie jest jednak bardzo opłacalne, ponieważ stoki, zwłaszcza strome, są mało przydatne do upraw polowych, a jednocześnie stanowią doskonałe siedlisko dla drzew i krzewów owocowych.

W Polsce nie ma tradycji zakładania przeciwerozyjnych sadów, a sady na tarasach założono dotychczas jedynie w kilku obiektach doświadczalnych. Uwzględniając jednak doświadczenia krajowe i zagraniczne, można przypuszczać, że sady takie zwłaszcza w terenach wyżynnych powinny odegrać kapitalną rolę w ochronie gleb przed erozją i w podnoszeniu potencjału produkcyjnego terenów silnie urzeźbionych, szczególnie zboczy w granicach nachyleń 15–35%, trudnych do uprawy polowej i silnie degradowanych przez procesy erozyjne. Zadrzewienia sadownicze powinno się wprowadzać jako melioracje przeciwerozyjne w pojedynczych gospodarstwach rolnych i przy zakładaniu sadów zblokowanych. Przy zakładaniu sadów przeciwerozyjnych powinna istnieć prawna możliwość udzielania kredytów na wykonywanie równania terenu i tarasowania (melioracje podstawowe) oraz na zakup odpowiedniego sprzętu do prac ziemnych, a nawet ciągników i narzędzi do poprzecznostokowej uprawy roli.

Gleby na stokach, za wyjątkiem wyerodowanych do skalnego podłoża, są na ogół odpowiednie dla zagospodarowania sadowniczego. Gleby lessowe zdecydowanie wysuwają się na pierwszy plan, ze względu na dobre właściwości fizyko-wodne i dużą żyzność. Na gruncie lessowym, nawet silnie wyerodowanym i o bardzo urozmaiconej topografii można zlikwidować (złagodzić, zasypać) rozmywy, a nawet wąwozy i uformować tarasy. Rędziny na terenach silnie urzeźbionych są przeważnie zdegradowane przez erozję, mają małą miąższość profilu glebowego i zwykle na powierzchni zalega rumosz skalny. Wiele takich gruntów zostało już wyłączonych z użytkowania rolniczego i wymaga rekultywacji i przeciwerozyjnego zagospodarowania. Jednym z najekonomiczniejszych sposobów zagospodarowania takich gruntów jest założenie sadów na tarasach. Skarpy w tym przypadku można wykonać z rumoszu wapiennego. Pozostałe gatunki gleb na wyżynach, za wyjątkiem żwirów i głębokich piasków, też przeważnie nadają się pod sady. Ciepłszy mikroklimat na stokach o ekspozycji południowej i wcześniejsze dojrzewanie owoców można wykorzystać do uprawy moreli, brzoskwiń, winogron, wczesnych odmian jabłoni i grusz, co zwiększa rentowność plantacji.

Trwale użytki zielone są po zadrzewieniach kolejną formacją roślinną dobrze przeciwdziałającą erozji. Ograniczenie procesów erozyjnych na powierzchni gleby oraz stosunkowo szybkie podnoszenie się urodzajności zachodzi wskutek rozwoju zwartej biomasy nadziemnej i systemu korzeniowego darni. Większość korzeni znajduje się w wierzchniej 10–20 cm warstwie gleby i przez to doskonale ją umacnia. Dostarczenie dużej masy resztek organicznych poprawia bio-fizyko-chemiczne właściwości gleby, zwiększa zawartość próchnicy i polepsza strukturę. Wszystko to, w połączeniu z drenażem przez system korzeniowy, zapewnia glebie dobrą przepusz-

czalność i chłonność wodną, co znacznie redukuje spływ powierzchniowy. Oprócz właściwości przeciwerozyjnych trwale użytki zielone, a zwłaszcza łąki w dolinach, są zielonym oceanem dla przyległych terenów, wdzięcznym za spływy powierzchniowe z terenów stokowych zlewni. Według Ostromęckiego (34), przez nawadnianie łąk można rozładować spływ wiosenny nawet o 40%. Trwale zadarnienia mają również istotny udział w zwalczaniu erozji wietrznej, co jest szczególnie ważne na torfach i murszach.

Scalanie gruntów z uwzględnieniem melioracji przeciwerozyjnych. Scalenia gruntów odgrywają istotną rolę w koncentracji ziemi i poprawie struktury agrarnej polskiego rolnictwa. Metoda ta ma na celu przekształcenie struktury przestrzennej rozdrobnionych działek rozmieszczonych w „szachownicy” w kształtne działki o dogodnym dojeździe.

Podczas scalania likwiduje się enklawy i półenklawy, wyprostowuje granice wsi oraz projektuje nowy układ komunikacyjny wsi. Umożliwia on dojazd do działek i skraca odległość między siedliskiem a polem.

Zapotrzebowanie na prace scaleniowe w Polsce jest bardzo duże i obejmuje grunty o powierzchni około 3,4 mln ha. Nie są one rozmieszczone równomiernie na obszarze Polski. Największe rozdrobnienie gruntów występuje w województwach południowo-wschodnich i centralnych. Przypada tam ponad 10 działek na jedno gospodarstwo.

Scalenia gruntów pozwalają na zwiększenie efektywności ekonomicznej gospodarowania dzięki obniżaniu kosztów produkcji, zmniejszaniu nakładów pracy, czasu przejazdów i zużycia paliwa. Racjonalniej wykorzystywany jest sprzęt rolniczy. Na etapie gospodarki rynkowej ma to szczególne znaczenie dla wzrostu konkurencyjności produkcji rolnej.

Obecnie w związku z szybko postępującą prywatyzacją rolnictwa zasadniczym problemem jest ochrona gruntów przed erozyjną degradacją i dewastacją w sektorze gospodarki indywidualnej. Poza nielicznymi wyjątkami melioracje przeciwerozyjne w sektorze rolnictwa indywidualnego można realizować jedynie w procesie scalania gruntów. Stwarzają one bowiem doskonałą okazję, aby przy stosunkowo niewielkich, dodatkowych nakładach sił i środków, zrealizować melioracje przeciwerozyjne na dość dużych obszarach, zwłaszcza w południowej i południowo-wschodniej części kraju, gdzie występuje największe zagrożenie erozją wodną i najbardziej uciążliwa szachownica gruntów. Podczas scaleń wprowadzany jest nowy układ działek oraz dróg i stosunkowo łatwo można dokonać transformacji użytków. Chodzi jedynie o to, by prace te były realizowane zgodnie z zasadami ochrony gleb przed erozją.

Dotychczas wykonywane scalenia gruntów w terenach silnie urzeźbionych bez przestrzegania zasad melioracji przeciwerozyjnych potęgowały nasilenie procesów rzeźbotwórczych i zwiększały dynamikę erozyjnej degradacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej.

Oczywiście byłoby najbardziej korzystne, gdyby zamiast zwykłych scaleń gruntów, wzorem państw zachodnich, realizować kompleksowe zarządzanie silnie urzeźbionych

terenów rolnych w procesie scalania gruntów. Programy takie zostały już opracowane w IUNG-u, we współpracy z Biurem Urządzeń Rolnych w Krumbach w Bawarii dla gminy Wąwolnica woj. lubelskie. Obejmują one takie działania, jak: scalenia gruntów, rozmieszczenie dróg rolniczych, utwardzenie dróg osiedlowych i rolniczych, transformację użytków – dostosowanie do warunków naturalnych, melioracje wodne z uregulowaniem lustra wody, melioracje przeciwerozyjne i rekultywacja terenów, rozmieszczenie terenów budowlanych, zaopatrzenie gospodarstw w wodę bieżącą, kanalizacja i oczyszczalnie ścieków, utylizacja nieczystości stałych. Kompleksowe melioracje przeciwerozyjne traktowane jako jeden z systemów urządzenioworolnych mogą być w warunkach gospodarki indywidualnej (o uciążliwej szachownicy gruntów i różnym układzie rozdrobnionych działek) realizowane tylko podczas prac scaleniowych.

Rekultywacja i zagospodarowanie nieużytków erozyjnych (wąwozów, stromych zboczy trudnej mikrorzeźby terenu). Zagospodarowanie wąwozów jest przeważnie najbardziej kapitałochłonną inwestycją w melioracjach przeciwerozyjnych i zaliczane jest do melioracji podstawowych. Generalnie są to inwestycje o charakterze inżynierskim, wymagające opracowania projektów technicznych i ich wdrażania przez przedsiębiorstwa specjalistyczne, np. melioracyjne. Dotychczas większość tego typu projektów zrealizowanych w terenie to obiekty doświadczalno-wdrożeniowe.

Wąwozy mogą być zagospodarowane metodami ochronnymi przez zabudowę biologiczną lub techniczno-biologiczną oraz ochronno-użytkowymi przez wykonanie zbiorników, zakładanie sadów i pastwisk oraz zagospodarowanie dla celów rekreacyjnych, a także metodami zintegrowanymi.

Zabudowa biologiczna wąwozów jest najbardziej rozpowszechniona i akceptowana w środowisku przyrodniczym (fot. 5). Sposób postępowania przy biologicznej zabudowie wąwozów zależy od tego, czy dokonujemy jedynie korekty w samoczynnym zadrzewieniu, czy też wprowadzamy zalesienie od podstaw. W pierwszym przypadku poprawia się skład zadrzewień przez usunięcie gatunków mniej wartościowych, a wprowadza gatunki odpowiednie dla danego siedliska, zwłaszcza dostosowane do rodzaju skały macierzystej, w której wytworzył się wąwóz. Sposoby wykonywanych zabiegów uzupełniających zależą przede wszystkim od występowania, nasilenia i form procesów rzeźbotwórczych. Często silnie rozmywane jest dno wąwozu. Wówczas należy dążyć do zatrzymania rumowiska i stopniowego spłylenia wąwozu przez zadarnienie i zadarnienie dna. Jeżeli na zalesionych zboczach wąwozu występują intensywne i trudne do opanowania procesy sufozyjne, to wówczas konieczna może się okazać zmiana użytkowania – usunięcie zadrzewień wraz z karczowaniem pni, zasypanie studni i tuneli sufozyjnych i wprowadzenie trwałych zadarnień. Wokół wąwozu, na granicy z gruntami ornymi wydziela się tzw. pas buforowy, który zadarnia się lub obsadza krzewami. Bardziej właściwe jest stosowanie zadarnienia. Szerokość pasa buforowego wynosi około 1–2 m, a powyżej czoł rozcięć – około 5 m.



Fot. 5. Prawidłowa zabudowa biologiczna wąwozu

Źródło: Józefaciuk i Józefaciuk, 1996

Techniczno-biologiczna zabudowa wąwozów polega na umocnieniu miejsc szczególnie narażonych na rozmywanie budowlami hydrotechnicznymi oraz na zadrzewieniu i zadarnieniu wąwozu według zasad omówionych przy zabudowie biologicznej. Budowle hydrotechniczne w wąwozach służące do umacniania progów erozji wstecznej, osuwisk i stabilizacji dna, ze względu na wysoki koszt, trudność wykonania, konieczność konserwacji i wprowadzenie sztucznych elementów w krajobraz wąwozu powinno się ograniczać do niezbędnego minimum. Dlatego należy je stosować jedynie w wąwozach, których nie da się zagospodarować innymi metodami, a które stanowią duże zagrożenie dla przyległych gruntów rolnych i obiektów gospodarczych.

Zabudowa wąwozów zbiornikami. W wąwozach można budować zbiorniki retencyjne, kolmatacyjne i retencyjno-kolmatacyjne. Wybór rodzaju zbiornika zależy od wielkości wąwozu i jego zlewni, nasilenia procesów erozyjnych oraz od warunków przyrodniczych i potrzeb gospodarczych. Zbiorniki w wąwozach buduje się w celu ograniczenia procesów rzeźbotwórczych, poprawienia gospodarki wodnej oraz ochrony gruntów, zasiewów, urządzeń melioracyjnych i cieków wodnych przed zamulaniem.

Zbiorniki retencyjne można budować w dużych wąwozach dolinowych, z których wypływają wody źródlane lub w wąwozach o rozległych zlewniach i znacznym przepływie okresowych wód powierzchniowych (fot. 6). Zbiorniki wodne w wąwozach poprawiają lokalny mikroklimat, a zmagazynowana w nich woda może być wykorzystywana do hodowli ryb, ptactwa wodnego oraz do innych celów gospodarczych, a nawet rekreacyjnych.



Fot. 6. Zagospodarowanie wąwozu zbiornikiem retencyjnym

Źródło: zasoby własne, IUNG-PIB, Puławy

Zbiorniki retencyjne uzyskuje się przez przegrodzenie wąwozu groblą ziemną z urządzeniem do odprowadzania nadmiaru wód powierzchniowych, a zbiorniki kolmatacyjne w podobny sposób lub przez zasypanie dolnego odcinka wąwozu.

Zbiorniki kolmatacyjne służą do zatrzymywania rumowiska unoszonego przez wodę z wąwozu i jego zlewni. Erozyjna energia wody wykorzystywana jest do likwidacji form przez nią wytworzonych. Główne cele stosowania tej metody to zamulanie wąwozów oraz ochrona gruntów i obiektów poniżej wylotu przed zamulaniem.

Zbiorniki retencyjno-kolmatacyjne łączą funkcję jednych i drugich zbiorników.

Pastwiskowe zagospodarowanie wąwozów. Sposób ten jest korzystny w wąwozach o łagodniejszej rzeźbie, zwięzłym gruncie i leżących w pobliżu osiedli. Naturalnie zadarnione wąwozy są najczęściej użytkowane pastwiskowo, a wydajność runi można poprawić przez zastosowanie zabiegów, takich jak: uporządkowanie powierzchni, wyoranie poprzecznostokowych bruzd chłonnych, intensywne nawożenie, podsiew mieszką traw bruzd chłonnych i powierzchni pozbawionych darni, uregulowanie wypasu. Można też zastosować pełną uprawę i obsiew wąwozu mieszką traw. Przydatność metody pastwiskowego zagospodarowania wąwozów uzależniona jest głównie od ilości opadów i powinno się ją preferować w terenach górzystych.

Zagospodarowanie wąwozów dla celów rekreacyjnych. Wąwozy są pięknym elementem krajobrazu, a zagospodarowanie ich dla celów rekreacyjnych polega na ograniczeniu procesów rzeźbotwórczych, przy zachowaniu i podniesieniu walorów krajobrazowych (fot. 7). Jest to w pewnym stopniu modyfikacja zabudowy techniczno-biologicznej. Zamiast typowych budowli hydrotechnicznych wykonuje się budowle o podwójnym znaczeniu: rozpraszające energię spływających wód powierzchniowych

i ułatwiające turystom przechodzenie wąwozem. Zamiast drzew i krzewów leśnych sadi się drzewa i krzewy ozdobne. Możliwości rozwiązań jest bardzo dużo w zależności od pomysłowości projektujących architekturę krajobrazu.



Fot. 7. Zagospodarowanie wąwozu dla celów rekreacyjnych

Źródło: zasoby własne, IUNG-PIB, Puławy

Zagospodarowanie odlogów na stromych zboczach i likwidowanie mikro-rzeźby. Odłogi na stromych zboczach powstały w wyniku wyłączenia tych gruntów z użytkowania rolniczego przez ich właścicieli, którzy uznali, że ich dalsze orne użytkowanie jest nieopłacalne.

Strome zbocza o nachyleniu ponad 21% powinny być wyłączone z ornego użytkowania ze względu na zagrożenie silnymi procesami erozji i na niebezpieczeństwo uprawy roli sprzętem mechanicznym. Generalnie takie zbocza powinno się przeznaczyć przede wszystkim pod zalesienia lub trwałe użytki zielone (fot. 8).



Fot. 8. Zalesienia i trwałe użytki zielone na stromych zboczach

Źródło: zasoby własne, IUNG-PIB, Puławy

W terenach górskich i podgórskich, o zwiększonej ilości opadów (>800 mm), strome zbocza można przeznaczyć pod las lub użytkować jako pastwisko, zwłaszcza dla owiec. W terenach wyżynnych, szczególnie o glebach wytworzonych z głębokich lessów, na zboczach o nachyleniu do 30% efektywnym zagospodarowaniem mogą być sady na ławach tarasów, a na bardziej stromych zboczach – sady na tarasach indywidualnych wykonywanych w poprzecznostokowych bruzdach chłonnych. W tym ostatnim przypadku ze względu na trudności chemicznej walki z chwastami i szkodnikami powinno się sadzić zwłaszcza orzech włoski i laskowy, które są odporne na choroby i szkodniki.

Strome zbocza z trudną mikrorzeźbą w terenach chronionego krajobrazu można przeznaczać na działki z zabudową rekreacyjną.

Każdy z wymienionych zabiegów wykazuje określone działanie ochronne, lecz najlepsze efekty uzyskuje się przy ich kompleksowym stosowaniu. Oczywiście udział poszczególnych zabiegów w systemie kompleksowym zależy od rodzaju form występowania i nasilenia erozji oraz warunków przyrodniczych i sposobu gospodarowania ziemią.

Pozytywne oddziaływanie zabiegów przeciwoerozyjnych na produkcję rolną jest następujące:

- zapobieganie obniżaniu się urodzajności gleb oraz niekorzystnym zmianom właściwości fizykochemicznych i ubytkowi profilu gleby;
- przeciwdziałanie zakłócaniu stosunków wodnych w glebach i niekorzystnym zmianom hydrologii cieków wodnych oraz niszczeniu urządzeń melioracyjnych, a także zabagnianiu lub nadmiernemu osuszaniu gruntów;
- niedopuszczanie do rozczłonkowania rzeźby terenu przez wąwozy i inne formy erozyjne;
- zmniejszanie erozyjnych strat plonów;
- polepszanie warunków dla intensyfikacji produkcji przez uporządkowanie rozłogu gruntów rolnych – struktury użytków, układu pól i dróg, agrotechniki, rekultywacji nieużytków i innych.

Dodatni wpływ zabiegów przeciwoerozyjnych na inne dziedziny gospodarcze przejawia się między innymi w zmniejszaniu nakładów na następujące prace i zabiegi:

- usuwanie namulów i renowacje dróg oraz szlaków komunikacyjnych, urządzeń melioracyjnych i wodnych, budynków itp.;
- oczyszczanie z namulów szlaków wodnych oraz utrzymywanie w odpowiednim stanie czystości wód pitnych i przemysłowych;
- ochrona terenów zabudowanych (osiedli, obiektów przemysłowych i innych) przed zamulaniem i uszkodzaniem przez erozję;
- ochrona powietrza przed zanieczyszczeniem pyłem glebowym;
- utrzymanie walorów chronionego krajobrazu.

Zabiegi przeciwoerozyjne pod względem okresu działania można podzielić na trwałe (wieloletnie) i okresowe (sezonowe). Do działań trwałych należą przede wszystkim zabiegi o charakterze urządzeniowym, takie jak: transformacja użytków, układ pól i dróg, zabudowa wąwozów, urządzenia techniczne (tarasowanie zboczy, umacnianie dróg i cieków stałych, budowa grobli itp.), zaś do działań okresowych należą agrotechnika przeciwoerozyjna, rowy odprowadzające okresowe spływy powierzchniowe i inne.

Nakłady na wykonanie poszczególnych zabiegów są różne. Duże nakłady i wysokie koszty jednostkowe mają zabiegi wymagające opracowania projektów technicznych i znacznego zmechanizowania robót wykonawczych, a zatem zabiegi określone jako techniczne oraz zabudowa wąwozów. Wymagają one również nakładów na bieżącą konserwację. Natomiast takie zabiegi, jak wprowadzenie przeciwoerozyjnego układu użytków, pól i dróg praktycznie niewiele kosztują, zwłaszcza jeśli są połączone ze scalaniem gruntów. Nakłady na zabiegi okresowe corocznie wchodzi w koszty własne produkcji rolnej.

Melioracje przeciwoerozyjne mają regionalny charakter i im bardziej są dostosowane do przyrodniczych i gospodarczych warunków danego obszaru, tym większa ich skuteczność ochronna i efektywność ekonomiczna.

W regionie gór i pogórzy za najważniejszą przyczynę współczesnej erozji uważa się zmiany użytkowania ziemi, zwłaszcza wylesienie. Znaczny wpływ na zwiększenie się gwałtowności spływów powierzchniowych ma gęsta sieć dróg gruntowych, efektywnie drenująca stoki i prowadząca znaczne ilości rumowiska, a na wzrost fali powodziowej w wielu przypadkach rzutuje nieodpowiednio wykonana regulacja potoków. Biorąc pod uwagę przyczyny i zjawiska erozji wodnej w rejonie gór i pogórzy oraz jego funkcję gospodarczą, za nadrzędny cel melioracji przeciwoerozyjnych należy uznać ochronę i kształtowanie krajobrazu oraz gospodarkę zasobami wodnymi – wydłużenie obiegu wody w ekosystemach rolno-leśnych oraz magazynowanie jej nadwyżek podczas spływów powierzchniowych. Dlatego w systemie melioracji przeciwoerozyjnych priorytet powinny mieć: transformacja użytków – zwiększenie powierzchni lasów, łąk i pastwisk oraz rozmieszczenie użytków rolno-leśnych stosownie do siedliskowej strefowości stoków; stosowanie poprzecznostokowego układu pól i pełnej agrotechniki przeciwoerozyjnej; korekta sieci dróg gruntowych – polegająca zwłaszcza na właściwym ich lokalizowaniu w rzeźbie terenu i umacnianiu odcinków erodowanych; biologiczno-techniczne utrwalanie form intensywnej erozji – wąwozów, debrzy, wciósów, osuwisk, złazisk i innych; techniczno-biologiczna zabudowa sieci hydrograficznej wraz z budową zbiorników retencyjnych i rumowiskowych.

W rejonie wyżyn, zwłaszcza lessowych intensywnie degradowanych zmywami powierzchniowymi i erozją wąwozową pierwszoplanowym zadaniem jest ochronne kształtowanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej, którego głównymi elementami będą: poprzecznostokowy układ działek i pól, z sytuowaniem pól w możliwie jednorodnych siedliskach agrotechnicznych i stosowaniem pełnej agrotechniki przeciwoerozyjnej; przebudowa sieci dróg gruntowych z uwzględnieniem zasad ochrony przeciwoerozyjnej i zwróceniem szczególnej uwagi na rozwiązanie problemu dróg w wąwozach;

rekultywacja i zagospodarowanie poerozyjnych nieużytków, zwłaszcza wąwozów oraz łagodzenie uciążliwej mikrorzeźby terenu. Transformacja użytków ma ograniczone możliwości ze względu na wysoką rolniczą bonitację gleb lessowych, dlatego w miejsce ewentualnych zalesień korzystniej jest wprowadzać sady urządzone przeciwoerozyjnie, co oczywiście nie wyklucza zwiększania powierzchni leśnej, jeśli tylko jest to uzasadnione ekonomicznie. Natomiast łąki i pastwiska znajdują odpowiednie warunki głównie w dolinach rzek. Warunki fizjograficzne umożliwiają także budowę zbiorników retencyjnych o charakterze wielofunkcyjnym, w tym również w wąwozach.

W regionie pojezierzy melioracje przeciwoerozyjne to głównie korekta struktury użytków – właściwe rozmieszczenie w rzeźbie stoku, zwiększenie powierzchni zalesień i trwałych zadarnień, a następnie stosowanie przeciwoerozyjnej struktury zasiewów i zmianowania roślin.

W regionie nizin zabiegi przeciwoerozyjne będą potrzebne tylko lokalnie i głównie o charakterze fitomelioracyjnym. Wyjątek stanowią tereny przymorskie, które wymagają kompleksowej ochrony przed abrazją.

Agrotechnika przeciwoerozyjna

Agrotechnika przeciwoerozyjna może stanowić samodzielny zabieg na gruntach z erozją słabą i umiarkowaną oraz zabieg uzupełniający na gruntach bardziej erodowanych – począwszy od erozji średniej.

Wśród zabiegów agrotechnicznych podstawowe znaczenie ma poprzecznostokowa uprawa roli. Poprzecznostokowa orka jesienna, na zboczach o spadku do 10%, kilkakrotnie zmniejsza nasilenie erozji i równocześnie zwiększa, od kilkunastu do kilkudziesięciu milimetrów, zapas wody w jednometrowej warstwie gleby (po roztopach śniegowych) oraz zwiększa plony o kilkanaście procent. Im orka jest głębsza, bardziej wyskibiona, tym większy jest jej wpływ na retencjonowanie wody. Orkę najlepiej wykonuje się pługiem obracalnym, z odkładaniem skiby w górę stoku. Wówczas glebę przemieszcza się w odwrotnym kierunku niż procesy erozyjne, co w znacznym stopniu równoważy bilans przemieszczeń poziomy orno-próchnicznego.

Niezbędnym zabiegiem agrotechniki przeciwoerozyjnej jest zabieg regulujący zagęszczenie podglebia poprzez głęboszowanie, stosowanie spulchniaczy śladów, agregatowanie narzędziami zmniejszającymi liczbę przejazdów do niezbędnego minimum. Gleba jest napowietrzana w głąb profilu glebowego z jednoczesnym usuwaniem zasklepienia jej warstwy powierzchniowej. Zabieg ten jest kosztowny, ale jego wykonanie wystarcza na okres od 3 do 4 lat. Jednymi z najefektywniejszych systemów uprawy gleby zmniejszających procesy erozji gleb jest bezorkowa uprawa roli oraz mulczowanie powierzchni gleby resztkami poźniwnymi.

Oprócz orki i spulchniania podglebia ważny jest poprzecznostokowy kierunek siewu i sadzenia, który w okresie wegetacji roślin znacznie ogranicza nasilenie erozji. Termin siewu, zwłaszcza ozimin, powinien być możliwie wczesny, ponieważ wtedy zapewnia dobre ukorzenie i rozkrzewienie roślin, a przez to lepszą przeciwoerozyjną

ochronę gleby. Wskazany jest głębszy wysiew nasion – ziarno jest lepiej chronione przed ewentualnym zmyciem, a węzły krzewienia są lepiej zabezpieczone przed odsłonięciem.

Nawożenie gleb w terenach erodowanych powinno być zróżnicowane na poszczególnych elementach rzeźby, ze względu na wyraźne odrębności siedliskowe. Najobfitszego nawożenia wymagają gleby na zboczach, zwykle najuboższe i łatwo przesychnające. Szczególnie wskazane są tam nawozy organiczne. Zwiększone dawki nawozów mineralnych, zwłaszcza azotu i potasu, są również wykorzystywane efektywnie. Słabo lub wcale nieerodowane gleby na wierzchowinach wymagają mniejszego nawożenia niż na zboczach, a najmniejszego – zwykle zasobne w próchnicę gleby u podnóży zboczy oraz w dolinach.

Odpowiedni dobór i następstwo roślin w płodozmianie stanowią kolejne podstawowe ogniwa w systemie agrotechniki przeciwoerozyjnej. Największe właściwości przeciwoerozyjne mają trawy i ich mieszanki z roślinami bobowatymi, a następnie wieloletnie bobowate. Gatunki jednoroczne charakteryzują się mniejszymi zdolnościami ochronnymi, przy czym ozime – żyto i rzepak, a następnie pszenica i jęczmień – lepiej chronią glebę przed erozją niż zboża jare. Zmianowanie roślin w terenach podlegających erozji wodnej powinno być różne na poszczególnych elementach stoku. Na wierzchowinach można stosować płodozmiany z przewagą gatunków towarowych, na zboczach – z przewagą glebochronnych, na podnóżach – płodozmiany intensywne z dwuletnią uprawą roślin dobrze chroniących glebę, a w dolinach – płodozmiany z nasileniem upraw na zieloną masę.

Płodozmiany przeciwoerozyjne, poprzez właściwy dobór gatunków roślin i odpowiednie ich zmianowanie, stanowią kapitalny zabieg przeciwoerozyjny na gruntach ornych, niestety często jeszcze niedoceniany. Gatunki wieloletnie, takie jak trawy i ich mieszanki z roślinami bobowatymi, a następnie tylko same bobowate (koniczyna, lucerna), mają największą wartość przeciwoerozyjną. Spośród roślin jednorocznych pierwszeństwo mają zboża ozime w kolejności – żyto, rzepak, jęczmień i pszenica. Następną grupą są zboża jare. Rośliny okopowe najslabiej chronią glebę przed erozją. W górach i na pogórzu, gdzie krytycznym okresem występowania erozji są ulewy letnie, nie ma zasadniczej różnicy w wartości przeciwoerozyjnej zbóż jarych i ozimych. Natomiast na wyżynach, gdzie procesy erozyjne występują głównie podczas roztopów śniegowych zróżnicowanie wartości ochronnej jest bardzo wyraźne na korzyść zbóż ozimych.

Zmianowanie roślin zależy od rzeźby terenu, układu i wielkości pól, warunków siedliskowych i sposobu gospodarowania. W płodozmianach przeciwoerozyjnych powinny dominować rośliny o dużych właściwościach ochronnych, a zabiegi spulchniające glebę powinny być ograniczone i wykonywane w okresach małego nasilenia erozji.

Płodozmiany na zboczach z poprzecznostokowym układem pól powinny być tak dobrane, aby pola z roślinami dobrze chroniącymi glebę sąsiadowały z polami słabiej chronionymi przez szatę roślinną.

Płodozmiany należy szczególnie starannie układać dla zboczy, na których będą one stanowiły zasadniczy lub jedyny zabieg przeciwoerozyjny, zwłaszcza dla zboczy z poprzecznostokową, skośnostokową lub nawet wzdłużstokową uprawą roli. W takich przypadkach wskazane jest ograniczenie zabiegów spulchniających glebę i skracanie okresów pozostawienia roli bez okrywy roślinnej, zwłaszcza w okresach krytycznych, podczas których występuje duże zagrożenie erozyjne.

Uprawy polowe w obniżeniach terenu, którymi okresowo przepływa większa ilość wód powierzchniowych (dolinki śródpolne i różnego rodzaju obniżenia) powinny być raczej ograniczone na korzyść użytków zielonych.

Podane przykłady zmianowań wielopolowych wymagają dużego areału gruntów i są raczej przystosowane do gospodarstw wielkotowarowych. W gospodarstwach o mniejszej powierzchni gruntów zboczowych ograniczamy się do odpowiedniego doboru i następstwa roślin, a okres ugorowania skracamy przez stosowanie wsiewek i poplonów.

Nieobsiane powierzchnie gleb ornych zaleca się przykrywać na okres jesienno-zimowy wszystkimi dostępnymi w gospodarstwie odpadowymi materiałami użytkowymi, jak słoma, łąty, liście. Materiały te spełniają również funkcje mulczu i chronią glebę przed niszczeniem przez krople deszczu, zatrzymują śnieg i ograniczają zmywy wiosenne gleby.

Poniżej przykłady zmianowań dla terenów wyżynnych (tab. 3).

Tabela 3

Przykład płodozmianu dla erodowanego zbocza lessowego

Zbocze lessowe o wystawie południowej			
Lp.	przykład I	Lp.	przykład II
1.	okopowe	1.	okopowe
2.	jęczmień z wsiewką	2.	mieszanka owsa z jęczmieniem i wsiewką
3.	koniczyna	3.	koniczyna
4.	pszenica ozima, poplon ozimy	4.	pszenica ozima
5.	mieszanka strączkowych	5.	żyto, poplon do przyorania na wiosnę
6.	żyto lub pszenica ozima	6.	żyto lub pszenica ozima
Zbocze lessowe o wystawie północnej			
Lp.	przykład I	Lp.	przykład II
1.	okopowe	1.	ziemniaki wczesne
2.	jęczmień z wsiewką	2.	żyto z wsiewką
3.	koniczyna z trawami	3.	koniczyna z trawami
4.	koniczyna z trawami	4.	koniczyna z trawami
5.	rzepak ozimy	5.	pszenica ozima
6.	pszenica ozima	6.	mieszanka pastewna (bobik z wyką)
7.	żyto, poplon do przyorania na wiosnę	7.	żyto

Źródło: Józefaciuk i Józefaciuk, 1998a (20)

Podsumowanie

Na terenach zagrożonych erozją należy zadbać o:

- wyłączenie z ornego użytkowania stromych i trudnych do uprawy zboczy i przeznaczanie ich pod zalesianie, trwałe użytki zielone (łąki, pastwiska) lub pod sady w darni;
- stosowanie poprzecznostokowej (równoległej do warstwie) uprawy roli, która na zboczach o nachyleniu do 20% (12°) jest łatwiejsza do wykonania, zmniejsza powierzchniowe spływy wody i nasilenie erozji, a także zużycie paliwa, a zwiększa wilgotność gleby i plonowanie roślin;
- stosowanie orki pługiem obracalnym, która przyspiesza tarasowanie zboczy oraz zmniejsza ich nachylenie i nasilenie erozji, przy czym powinno się zacząć takie pługi produkować seryjnie;
- stosowanie płodozmianów przeciwerozyjnych, z dużym udziałem roślin chroniących glebę przed zmywem powierzchniowym i żłobieniem, takich jak bobowate i ich mieszanki z trawami, zboża ozime zamiast jarych;
- stosowanie wsiewek, międzyplonów i poplonów, aby gleba jak najkrócej znajdowała się bez osłony;
- wcześniejszy termin siewu, zwłaszcza roślin ozimych, który zapewnia lepsze krzewienie, a przez to lepsze zabezpieczenie przed erozją;
- stosowanie większych dawek nawozów, zwłaszcza azotowych na glebach na zboczach, ze względu na małą zawartość w nich próchnicy i mniejszą aktywność biologiczną;
- likwidowanie przez zasypywanie rozmywów erozyjnych, które mogą inicjować powstawanie wąwozów;
- obsiew mieszanką traw prywatnych dróg dojazdowych i ich użytkowanie w taki sposób, aby nie tworzyć kolein i nie powodować zagłębienia się drogi;
- kształtowanie rzeźby terenu przez zasypywanie różnego rodzaju niewielkich form erozyjnych, w których następuje koncentracja okresowych spływów wód powierzchniowych i które utrudniają gospodarowanie;
- budowę wielofunkcyjnych zbiorników małej retencji na dnach dolin ze stałym i okresowym przepływem wody;
- budowę zbiorników kolmatacyjnych i retencyjno-kolmatacyjnych w wąwozach dolinowych w celu likwidowania wąwozów, ochrony upraw poniżej wylotu wąwozów przed zamulaniem i cieków wodnych przed zanieczyszczeniem;
- agrotechnikę przeciwerozyjną, która może stanowić samodzielny zabieg na gruntach z erozją słabą i umiarkowaną oraz zabieg uzupełniający na gruntach bardziej erodowanych – począwszy od erozji średniej. Wśród zabiegów podstawowe znaczenie ma poprzecznostokowa uprawa roli, poprzecznostokowy kierunek siewu i sadzenia, nawożenie gleb oraz dobór i następstwo roślin;

- korektę granicy rolno-leśnej. Grunty na stromych zboczach o nachyleniu ponad 12° (21%) silnie degradowane przez erozję wodną powinny być wyłączone z ornego użytkowania i w większości przeznaczone pod zalesienia lub trwałe użytki zielone;
- właściwe rozmieszczenie użytków. Trzeba szerzej wprowadzać zadrzewienia o charakterze fitomelioracyjnym, typować grunty pod uprawy polowe, uwzględniając nachylenie zboczy, zróżnicowanie mikrorzeźby, rodzaj gleb i stopień ich wyerodowania oraz strukturę agrarną;
- trwałe użytki zielone. Powinny przede wszystkim zajmować doliny rzek, a ponadto należy je lokalizować na dnach dolin smużnych, w których koncentrują się okresowo spływy powierzchniowe i ewentualnie na stromych zboczach o nachyleniu do 25%, lecz o glebach średnio zwięzłych i zwięzłych;
- sieć dróg rolniczych. Drogi rolnicze powinny posiadać nawierzchnię utwardzoną oraz właściwy system odwodnienia powierzchniowego;
- scalenia gruntów z uwzględnieniem melioracji przeciwerozyjnych. Metoda ta ma na celu przekształcenie struktury przestrzennej rozdrobnionych działek rozmieszczonych w „szachownicy” w kształtne działki o dogodnym dojeździe, likwidację enklaw i półenklaw, ukształtowanie poprawnej granicy rolno-leśnej i układu dróg transportu rolniczego.

Każdy z wymienionych zabiegów wykazuje określone działanie ochronne, lecz najlepsze efekty uzyskuje się przy ich kompleksowym stosowaniu. Udział poszczególnych zabiegów w systemie kompleksowym zależy od rodzaju form występowania i nasilenia erozji oraz warunków przyrodniczych i sposobu gospodarowania ziemią.

Literatura

1. B a c S.: Przyczynek do badań nad zmianą położenia powierzchni ornych gruntów lessowych. Roczniki Nauk Rolniczych i Leśnych, Poznań 1928, **19(3)**: 28.
2. B a c S.: Słowo o badaniach nad erozją gleb w Polsce. W: Procesy erozyjne i problemy ochrony gleb w Polsce, S. Ziemiński (red.). WSR Lublin, PWRiL, 1968, **2**: 20-25.
3. B e n n e t H.H.: Elements of soil conservation. Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York, Toronto, Londyn, 1955, pp. 256.
4. B u r a c z y Ń s k i J.: Natężenie erozji wąwozowej i erozji gleb na Roztoczu Gorajskim. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 1977, **193**: 91-100.
5. F i g u ł a K.: Wstępna charakterystyka zjawisk erozji na terenie kilku powiatów województwa krakowskiego. Roczniki Nauk Rolniczych, Warszawa 1955, **71(F-1)**: 111-148.
6. F i g u ł a K.: Erozja w terenach górskich. Wiadomości Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych, 1960, **1(4)**: 190-197.
7. F i g u ł a K.: Badania transportu rumowiska w ciekach górskich i podgórskich o różnej budowie geologicznej i użytkowaniu. Wiadomości Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych, 1966, **6(3)**: 131-145.
8. F i s c h e r G., van Velthuisen H., Shah M., Nachtergaele F.: Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21 Century. FAO/IIASA Research Report. IIASA, Laxenburg, 2002, pp. 259.

9. Fournier F.: Climat et erosion; la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. Paris Presses Univ. de France, Paris 1960, pp. 201.
10. Gentile A.R. (ed.): Down to earth: Soil degradation and sustainable development in Europe – A challenge for the 21st century. EEA, 2000, **32**: 241-255.
11. Jadczyz J., Stuczyński T., Szabelak P., Wawer R., Zieliński M.: History and current status of research and policies regarding soil erosion in Poland, in: Agricultural Impacts on Soil Erosion and Soil Biodiversity: Developing Indicators for Policy Analysis. Proceedings from an OECD Export Meeting Rome, Italy, March, 2003, pp. 201-209.
12. Józefaciuk A., Józefaciuk C.: Próba oceny zagrożenia gruntów w Polsce erozją wietrzną. Pamiętnik Puławski, 1979, **71**: 12-21.
13. Józefaciuk C., Józefaciuk A., Wojdała L.: Sadownicze zagospodarowanie jako jeden z systemów melioracji przeciwoerozyjnych na przykładzie PGR Olszanka. IUNG Puławy, 1983, **R(180)**: 1-158.
14. Józefaciuk C., Józefaciuk A., Barbaś S., Budzyńska K.: Metoda opracowania mapy potencjalnej erozji wodnej gleb w Polsce. Roczniki Gleboznawcze, 1985, **36(1)**: 177-183.
15. Józefaciuk C., Józefaciuk A.: Struktura zagrożenia erozją wodną fizjograficznych krain Polski. Pamiętnik Puławski, 1992a, (suplement)**101**: 23-50.
16. Józefaciuk C., Józefaciuk A.: Gęstość sieci wąwozowej w fizjograficznych krainach Polski. Pamiętnik Puławski, 1992b, (suplement)**101**: 51-66.
17. Józefaciuk A., Józefaciuk C.: Próba erozyjnej rejonizacji obszarów Polski dla celów melioracji przeciwoerozyjnych. Toczniaki AR w Poznaniu, 1994, **226**.
18. Józefaciuk A., Józefaciuk C.: Erozja agroekosystemów. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 1995, ss. 168.
19. Józefaciuk C., Józefaciuk A.: Erozja wąwozowa i metody zagospodarowania wąwozów. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 1996, ss. 89.
20. Józefaciuk A., Józefaciuk C.: Agrotechnika przeciwoerozyjna. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 1998a, ss. 89.
21. Józefaciuk A., Józefaciuk C.: Erozja i melioracje przeciwoerozyjne. Terminologia. BN-88/9100-07. Znowelizowana jako Pr PN-R-04152, 1998b, ss. 42.
22. Józefaciuk A., Józefaciuk C.: Ochrona gruntów przed erozją. PIOŚ, Warszawa 1999, ss. 108.
23. Józefaciuk C., Józefaciuk A., Nowocień E., Wawer R.: Przeciwoerozyjne zagospodarowanie zlewni wyżynnej potoku Grodarz z uwzględnieniem ograniczania powodzi. Wyd. IUNG, Monografie i Rozprawy Naukowe, Puławy 2002, **4**: 1-65.
24. Kóćmi A.: Erozja wodna w obszarach młodoglacjalnych Pomorza i możliwości jej ograniczenia. Bibliotheca Fragmenta Agronomica 4B/98, Olsztyn 1998, ss: 83-99.
25. Kondracik J.: Geografia Polski. Mezoregiony fizyczno-geograficzne. PWN, Warszawa 1994, ss. 440.
26. Koreleski K., Żurek E.: Analiza potrzeb w zakresie przeciwoerozyjnego zabezpieczenia gruntów w Polsce. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu 294, Melioracje i Inżynieria Środowiska, 1997, cz. I, **19**: 177-184.
27. Lambo R.J.: Hydrologia inżynierska. Arkady, 1971, ss. 280.
28. Maruszczak H.: Warunki geologiczno-geomorfologiczne rozwoju erozji gleb w południowej części województwa lubelskiego. Wiadomości Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych, 1963, **4**: 19-44.
29. Maruszczak H.: Erozja wąwozowa we wschodniej części pasa wyżyn południowopolskich. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 1973, **151**: 15-30.
30. Mazur Z., Pałys S.: Zróżnicowanie uwilgotnienia gleby w zależności od kierunku uprawy w urzeźbionym terenie lessowym. Zeszyty Naukowe AR Wrocław, Konferencje III, t. II, 1994, **246**: 177-183.

31. N i e w i a d o m s k i W.: Badania nad erozją gleb północy Polski (okres 1950–1967). PWRiL, Warszawa 1968, **2**: 29-49.
32. Nowocień E.: Umacnianie rowów i ścieków dróg rolniczych na terenach lessowych zagrożonych erozją. IUNG Puławy, 1996, **K(11/1)**: 313-319.
33. N o w o c i e Ń E.: Wybrane zagadnienia erozji gleb w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy 2008, **10**: 9-38.
34. O s t r o m ę c k i J.: Erozja gleb jako zagadnienie melioracyjne. Gospodarka Wodna, 1947, **415**: 1-20
35. P r o c h a l P.: Badania nad erozją gleb w terenach górskich. PWRiL, Warszawa 1968, ss. 50-90.
36. P r o c h a l P. (red.): Podstawy melioracji rolnych, t. 2. PWRiL, Warszawa 1987, s. 264-342.
37. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa z dnia 5 lipca 1979 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy eksploatacji ciągników i maszyn rolniczych (Dz.U. nr 16 poz. 104, 1979).
38. S a d u r s k a E.: O działalności H.H. Bennetta na polu ochrony gleb przed erozją. Postępy Nauk Rolniczych, 1965, **1(91)**: 143-146.
39. S a s i k J., S z e w r a Ń s k i S., Ż m u d a R.: Rola zbiornika małej retencji wodnej w kształtowaniu denudacji odpływowej i chemizmu odpływu. Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis 217, Agricultura, Szczecin 2001, **87**: 209-212.
40. S t a r k e l L.: Studia nad typologią i oceną środowiska geograficznego Karpat i Kotliny Sandomierskiej. Prace Geograficzne, 1978, ss. 35.
41. S t a r k e l L.: Erozja gleb a gospodarka wodna w Karpatach. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 1980, **235**: 103-118.
42. W a w e r R.: Zastosowanie cyfrowego modelowania obszaru zlewni Grodarza dla celów zagospodarowania przeciwerozyjnego. Rozprawa doktorska. IUNG, Puławy 2003, ss. 91.
43. W a w e r R., N o w o c i e Ń E., B u d z y Ń s k a K., P o d o l s k i B.: Cyfrowa mapa podatności gleb użytków rolnych na erozję wodną powierzchniową. Skala referencyjna 1:500000. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu 375, Rolnictwo, 2006, **65**: 223-227.
44. Z a c h a r D.: Soil erosion. Developments in soil science 10, Elsevier scientific publishing company, Amsterdam, Oxford, New York, 1982, pp. 450.
45. Z i e m n i c k i S.: Zapobieganie i zwalczanie erozji na lessach. Roczniki Nauk Rolniczych, 1955, **54(1)**: 155-188.
46. Z i e m n i c k i S.: Zasięgi erozji gleb w południowej części województwa lubelskiego. Biul. Lub. TN, 1964, **B 3-4**: 21-29.
47. Z i e m n i c k i S.: Ochrona gleb przed erozją. PWRiL, Warszawa 1978, ss. 250.

Adres do korespondencji:

dr inż. Eugeniusz Nowocień
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8,
24-100 Puławy
tel. 81 4786771
e-mail: Eugeniusz.Nowocien@iung.pulawy.pl

AUTOR	ORCID
Eugeniusz Nowocień	0000-0002-2673-0023
Rafał Wawer	0000-0001-9266-9577

Jacek Niedźwiecki, Piotr Ochal

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

ŚRODOWISKOWE SKUTKI ZAKWASZENIA GLEB UŻYTKOWANYCH ROLNICZO I ICH OGRANICZANIE*

Słowa kluczowe: grunty rolne, pH, wapnowanie, środowisko glebowe, ochrona gleb

Wstęp

Zakwaszenie gleb w sposób bezpośredni wpływa na ich jakość oraz potencjał produkcyjny poprzez zmniejszenie przyswajalności składników pokarmowych roślin, przede wszystkim związków zasadowych. Zakwaszenie gleb przyczynia się także do zmniejszenia zawartości próchnicy w glebie oraz wzrostu przyswajalności wielu niebezpiecznych dla zdrowia ludzkiego pierwiastków śladowych, takich jak np. kadm, ołów czy nikiel (22). Do niebezpiecznych skutków środowiskowo-produkcyjnych należy zaliczyć również ograniczenie pobrania przez rośliny składników pokarmowych takich jak azot czy fosfor, przez co w wyniku wymywania przedostają się one do wód gruntowych (22), powodując eutrofizację. Obniżenie wartości pH poniżej 4,5 może wskazywać na silną degradację środowiska glebowego (13, 17).

Zakwaszenie gleb w naszym kraju wynika przede wszystkim z uwarunkowań naturalnych, m.in. położenia w środkowoeuropejskiej strefie pasa subborealnego z klimatem umiarkowanym, co ma znaczący wpływ na gospodarkę wodną naszych gleb. Ponadto przewaga opadów nad parowaniem sprawia, że większość składników pokarmowych o charakterze zasadowym jest wymywana w głąb profilu glebowego. Kolejnym czynnikiem wpływającym na naturalną podatność gleb na zakwaszenie jest charakter polodowcowy materiału, z którego wytworzona jest większość gleb Polski (12). Udział takich gleb przekracza 90% powierzchni naszego kraju (4, 12). Polodowcowy materiał, z którego wytworzona jest większość gleb Polski to głównie luźne skały okruchowe i osadowe o kwaśnym odczynie, pochodzące z obszarów

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.2 pt. „Gleby użytkowane rolniczo” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

Skandynawii (4, 8), co znajduje swoje odzwierciedlenie w procentowym udziale gleb zakwaszonych w Polsce.

Na podstawie wyników programu pn. „Monitoring chemizmu gleb ornych Polski”, stanowiącego podsystem Państwowego Monitoringu Środowiska w zakresie jakości gleb oraz ziemi i prowadzonego od 1995 r. co 5 lat w tych samych lokalizacjach, wykazano, że ponad 70% powierzchni gleb użytków rolnych Polski jest w różnym stopniu zakwaszonych: b. kwaśne – 13%, kwaśne – 26%, lekko kwaśne – 34%. Pozostałe 27% to gleby o odczynie obojętnym i zasadowym (22). Potwierdzają to również wyniki monitoringu gleb prowadzonego w latach 2008–2016 przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze (21). Do istotnych czynników wpływających na zakwaszenie gleb należy również działalność antropogeniczna. Polega ona przede wszystkim na przemysłowej emisji takich związków, jak SO_2 , NO_x i NH_3 , mogących przyczynić się do powstawania kwaśnych deszczów (4). Dodatkowo zakwaszeniu gleb sprzyja zawyżone stosowanie nawozów azotowych przy jednoczesnym spadku zużycia środków wapnujących (9, 10).

Celem niniejszego opracowania jest wskazanie najistotniejszych z punktu środowiskowego skutków zakwaszenia gleb użytków rolnych oraz przedstawienie sposobów zapobiegania temu niekorzystnemu zjawisku.

Środowiskowo-produkcyjne skutki zakwaszenia gleb

Gleby o uregulowanym odczynie zapewniają roślinom uprawnym korzystne warunki do pobierania składników pokarmowych. Wpływ odczynu gleby na przyswajalność składników pokarmowych nie jest jednakowa. Wzrost zakwaszenia gleb powoduje spadek przyswajalności takich makroskładników, jak azot, fosfor, potas, magnez, wapń oraz mikroskładników – molibdenu i boru. Natomiast wraz ze wzrostem odczynu gleby następuje spadek przyswajalności metali ciężkich, tj.: żelazo, cynk, mangan i miedź. Długotrwałe obniżenie odczynu gleby poniżej pH 5,5 skutkuje wzrostem aktywności jonów glinu i manganu, które mają toksyczne działanie przede wszystkim na system korzeniowy roślin uprawnych (5, 22).

Niewłaściwy odczyn gleb może wywoływać wiele negatywnych zmian w środowisku, powodując procesy degradacji gleby: pogorszenie struktury i przepuszczalności gleb, zwiększenie rozpuszczalności i mobilności składników mineralnych, w tym toksycznych pierwiastków śladowych, a także glinu uszkadzającego system korzeniowy roślin, naruszenie równowagi jonowej środowiska glebowego poprzez wzmaganie migracji pierwiastków do wód gruntowych, oddziaływanie na aktywność mikroorganizmów, ich rozmnażanie, oddziaływanie na wzrost i rozwój roślin oraz na wielkość i jakość plonu (22). Przy kwaśnym, a nawet już lekko kwaśnym odczynie następuje wzrost stężenia i dostępności dla roślin mobilnych form metali ciężkich (2, 7). Do negatywnych dla środowiska skutków zakwaszenia gleb można zaliczyć także utrudnione pobieranie azotu i fosforu przez rośliny, co powoduje straty azotu poprzez jego uwalnianie się do atmosfery w postaci tlenków azotu. Ponadto straty azotu

oraz fosforu z gleb przyczyniają się do pogorszenia jakości wód powierzchniowych i gruntowych (16). Potwierdzają to badania prowadzone przez Filipka i in. (3), w których wykazano, że lepsze gospodarowanie składnikami nawozowymi, w szczególności fosforem, poprawia się wraz z podwyższaniem odczynu gleby i zapewnia lepsze wykorzystanie składników pokarmowych przez rośliny, dzięki czemu w mniejszym stopniu przemieszczają się do wód, co ogranicza eutrofizację ekosystemów.

Według badań prowadzonych przez Kopińskiego i in. (11) w Polsce w latach 2006–2011 i 2012–2015 straty w produkcji roślinnej spowodowane zakwaszeniem gleb były dwukrotnie większe niż straty wynikające z niekorzystnych warunków atmosferycznych.

W zakwaszonych glebach uprawnych już przy pH 5,8–6,0, na których stosuje się nawożenie azotowe, emitowane są z gleby tlenki azotu (9), których emisja do atmosfery przyczynia się do powstawania kwaśnych deszczów wywierających negatywny wpływ na mikroorganizmy glebowe.

Tak wiele negatywnych skutków środowiskowych wynikających z zakwaszenia gleb sprawia, że niezbędne stają się działania zapobiegawcze temu niekorzystnemu zjawisku. Ponadto konieczność ochrony powierzchni ziemi przed negatywnymi skutkami zakwaszenia wynika wprost z ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, w której w artykule 101 nadmienia się, iż ochrona powierzchni ziemi polega na zachowaniu jak najlepszego stanu gleby poprzez zapobieganie działaniom powodującym zakwaszenie (25).

Stan aktualny oraz zmiany w zakwaszeniu gleb użytków ornych

Najważniejsze zmiany dotyczące aktualnego stanu gleb odnoszą się do ich zakwaszenia. Mianowicie udział gleb bardzo kwaśnych zwiększył się z ok. 20% w 1995 roku do ponad 35% w 2015 roku (tab. 1). Obecnie łączny udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych wynosi ponad 60%. Zmniejszyła się także zawartość kationów wapnia i magnezu w glebach. Gleby najbardziej zakwaszone przeważają w województwach: łódzkim, małopolskim i podkarpackim – ponad 70% gleb o odczynie bardzo kwaśnym i kwaśnym. Najmniej natomiast takich gleb wykazano w województwach kujawsko-pomorskim i opolskim – około 35% (22, 16) (rys. 1). Fakt ten wynika przede wszystkim z przyczyn naturalnych (głównie składu mineralicznego skały macierzystej) oraz wieloletnich zaniedbań w zakresie regularnego wapnowania gleb.

Tabela 1

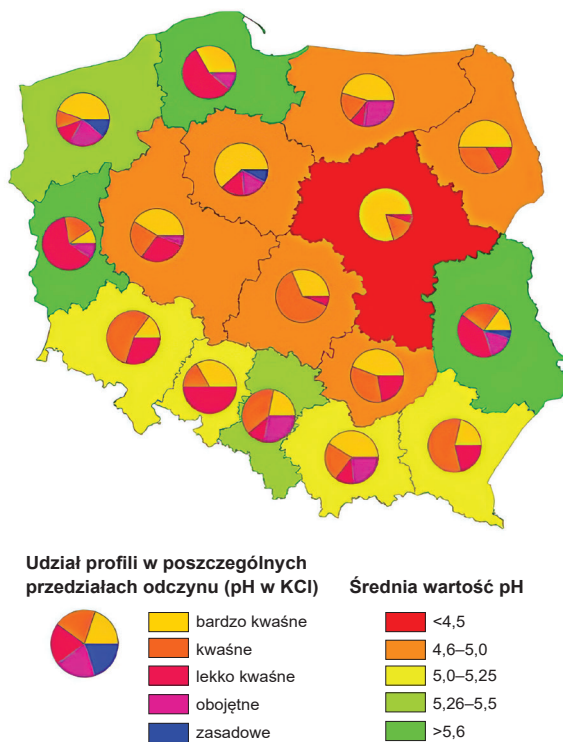
Zmiany odczynu gleb w latach 1995–2015 (22)

Odczyn	Wartość	Rok				
		1995	2000	2005	2010	2015
pH w H ₂ O	minimum	4,7	4,8	4,3	4,8	3,7
	maximum	7,7	8,2	8,0	8,4	7,8
	średnia	6,3	6,5	6,3	6,5	5,9
	mediana	6,4	6,6	6,4	6,4	5,9

cd. tab. 1

Odczyn	Wartość	Rok				
		1995	2000	2005	2010	2015
pH w KCl	minimum	3,6	3,7	3,5	3,7	3,1
	maximum	7,2	7,3	7,5	8,0	7,4
	średnia	5,3	5,4	5,3	5,5	5,1
	mediana	5,4	5,4	5,4	5,4	5,0

Źródło: Siebielec, 2017 (22)



Rys. 1. Zróżnicowanie odczynu gleb (pH w 1M KCl) w poszczególnych województwach

Źródło: Siebielec i in., 2017 (23)

Analizy danych zmian odczynu w latach 2008–2016 opracowane przez Rutkowską (21) w ramach monitoringu prowadzonego przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą oraz okręgowe stacje chemiczno-rolnicze wykazały, że 38,5% próbek gleb posiadało odczyn bardzo kwaśny i kwaśny. Natomiast Ochal i Smreczak (17) na podstawie wyników badań monitoringowych prowadzonych w IUNG-u od lat 50. XX w. wskazali na znaczny, blisko 50% (ok. 7 mln ha) udział gleb kwaśnych i bardzo kwaśnych.

Sposoby przeciwdziałania zakwaszaniu gleb

Wapnowanie gleb

Podstawowym elementem systemu nawożenia jak i ochrony gleb przed degradacją jest doprowadzenie gleby do optymalnego pH poprzez zabieg wapnowania. Wapnowanie to nawożenie gleby zasadowymi związkami wapnia w celu zobojętnienia nadmiernej kwasowości (1). Zabieg ten powoduje w środowisku glebowym również inne korzystne zmiany chemiczne, fizyczne i biologiczne, wpływając na wzrost plonów roślin, a także na środowisko (1, 6, 18). W Polsce praktyka wapnowania gleb odgrywa niezwykle istotną rolę ze względu na dużą powierzchnię gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych. Jednakże, jak wynika z danych Głównego Urzędu Statystycznego, zużycie wapna nawozowego w Polsce jest bardzo niskie i w roku gospodarczym 2018/2019 wyniosło niespełna 60 kg CaO·ha⁻¹ (20), co gorsza, sytuacja ta utrzymuje się od 2004 r. Przeciętnie szacuje się, że rocznie z powierzchni 1 ha warstwy ornej ubywa około 150–300 kg CaO i 50 kg MgO (14). Jak widać, aktualne zużycie jest nawet 5-krotnie niższe od wskazanego zapotrzebowania na wapno w skali roku.

Celem pośrednim regulowania odczynu gleby jest sterowanie procesami geochemicznymi i mikrobiologicznymi w taki sposób, aby zwiększyć rozpuszczalność, a tym samym przyswajalność i dostępność składników mineralnych. Odczyn gleby, zmniejszając się poniżej wartości optymalnej dla danego pierwiastka, prowadzi do szybkiego spadku jego efektywności plonotwórczej. Z trzech podstawowych składników mineralnych (N, P, K) najsilniej na zakwaszenie gleby reaguje fosfor (8, 19). Ochal i Kopiński (11) oszacowali, że poprawa właściwości fizykochemicznych gleb w wyniku wapnowania pozwoli ograniczyć straty tych składników pokarmowych w produkcji roślinnej o ok. 10%, tj. średnio dla Polski o 20 kg NPK·ha⁻¹ UR w dk.

Regularne, zgodne z zaleceniami nawozowymi, wapnowanie gleb gwarantuje wysoką opłacalność tego zabiegu, a także ograniczenie presji niewykorzystanych biogenów na środowisko. Aby wapnowanie było skuteczne i zarazem bezpieczne dla gleby i rośliny, dawkę wapna należy ustalać na podstawie wyników badań próbki glebowej reprezentującej dany obszar. Zapotrzebowanie na nawozy wapniowe jak i wielkość zalecanych dawek CaO·ha⁻¹ wynika ze stanu zakwaszenia gleb oraz konieczności doprowadzenia ich odczynu do uznawanego za optymalny dla danej kategorii agronomicznej gleb (tab. 2 i 3).

Tabela 2

Przedziały potrzeb wapnowania

Kategoria agronomiczna gleby	pH _{KCl} dla przedziału potrzeb wapnowania				
	konieczne	potrzebne	wskazane	ograniczone	zbędne
Bardzo lekkie	do 4,0	4,1–5,5	4,6–5,0	5,1–5,5	od 5,6
Lekkie	do 4,5	4,6–5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	od 6,1
Średnie	do 5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	6,1–6,5	od 6,6
Ciężkie	do 5,5	5,6–6,0	6,1–6,5	6,6–7,0	od 7,1
Użytki zielone	do 5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	-	-

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1990 (24)

Tabela 3

Optymalne dawki nawozów wapniowych w tonach CaO na hektar

Kategoria agronomiczna gleby	Przedział potrzeb wapnowania				
	konieczne	potrzebne	wskazane	ograniczone	zbędne
Bardzo lekkie	3,0	2,0	1,0	1,0	-
Lekkie	3,5	2,5	1,5	1,5	-
Średnie	4,5	3,0	1,7	1,7	1,0
Ciężkie	6,0	3,0	2,0	2,0	1,0

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1990 (24)

Prawidłowe ustalenie dawki nawozu wapniowego jest bardzo ważne, ponieważ przewapnowanie gleby i doprowadzenie odczynu do zasadowego wywołuje wiele negatywnych skutków, takich jak: przesuszenie gleby (szczególnie lekkiej), szybszy rozkład substancji organicznej oraz przejście niektórych składników w formy nieprzyswajalne dla roślin (fosfor, bor, żelazo, mangan). Przy wyborze formy nawozu wapniowego i ustaleniu warunków jego zastosowania należy wziąć pod uwagę gatunek gleby podlegającej wapnowaniu. Wapno tlenkowe jest odpowiednie przede wszystkim na gleby cięższe, których odczyn zmienia się bardzo powoli. Na tych glebach nie ma niebezpieczeństwa gwałtownej zmiany odczynu, gdyż odznaczają się one wysoką zdolnością buforową, dlatego nie zachodzi ryzyko przewapnowania. Natomiast na glebach lekkich, szczególnie piaszczystych, bardziej adekwatne jest stosowanie wapna węglanowego, które jest znacznie łagodniejsze w działaniu niż wapno tlenkowe.

Jednorazowe stosowanie wysokich dawek nawozów wapniowych w praktyce rolniczej nie jest uzasadnione (9). Zbyt wysokie dawki mogą wywołać szereg niekorzystnych zmian fizycznych i chemicznych gleby. By nie zakłócać właściwości gleb i zachodzących w niej przemian, jednorazowo nie należy stosować więcej jak 2/3 zalecanej dawki nawozów wapniowych w postaci tlenkowej (przy wapnowaniu koniecznym), czyli od 2,0 do 4,0 t CaO·ha⁻¹.

Zdecydowanie większa część nawozów azotowych stosowanych w polskim rolnictwie powoduje silniejsze lub słabsze zakwaszenie gleby. Zdolność zakwaszająca lub zobojętniająca nawozów azotowych wyraża się w tzw. równoważnikach wapniowych. Jest to ilość CaO, jaką należy zastosować dla zrównoważenia działania zakwaszającego 1 kg N w danym nawozie; ma on wówczas znak ujemny. W przypadku nawozów zobojętniających glebę wartość równoważnika wapniowego będzie dodatnia (6). Przykładowe równoważniki wapniowe dla wybranych nawozów przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Wartość równoważników wapniowych nawozów azotowych

Nawóz azotowy	Zawartość N w %	Równoważnik wapniowy w kg CaO na 1 kg N
Siarczan amonowy	20	-2,9
Mocznik	46	-1,0
Saletra amonowa	34	-1,0
Saletrzak z magnezem	28	-0,4
Saletra wapniowa	15,5	+0,7

Źródło: Fotyma i Zięba, 1988 (6)

Poprzez właściwy dobór nawozów azotowych można w pewnym stopniu ograniczyć presję zakwaszającą. Natomiast nawozy fosforowe i potasowe pozostają praktycznie bez wpływu na pH środowiska glebowego (6).

Podsumowanie

Zakwaszenie gleb użytkowanych rolniczo w naszym kraju stanowi nadal jeden z głównych elementów chemicznej degradacji gleb. Wynika ono po części z przyczyn naturalnych, ale również antropogenicznych. W celu przeciwdziałania negatywnym skutkom zakwaszenia gleb proponuje się szereg zaleceń służących regulowaniu odczynu gleb. Do najpopularniejszych i najskuteczniejszych takich zabiegów można zaliczyć wapnowanie gleb. Pozytywne działanie wapna polega przede wszystkim na stymulacji mikroorganizmów glebowych, przez co zwiększa się ich aktywność w glebie, a co za tym idzie również przyswajalność składników pokarmowych dla roślin. Następuje również stabilizacja zawartości trwałej frakcji próchnicy oraz sekwestracja CO₂ w glebach (8). Pozytywny efekt wapnowania to również zwiększenie potencjału produkcyjnego gleb i zmniejszenie negatywnego wpływu na ekosystemy glebowe (9). Ponadto podwyższenie odczynu gleb jest najskuteczniejszą i najprostszą metodą ograniczenia zagrożeń środowiskowych wynikających ze słabego wykorzystania składników pokarmowych z nawozów (15).

Wychodząc naprzeciw potrzebie regulacji odczynu gleby, na lata 2019–2023 został uruchomiony w Polsce program pn. „Ogólnopolski program regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie”, którego głównym zadaniem jest poprawa jakości środowiska oraz rekompensata zakupu wapna do poprawy jakości gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych. Na pewno umożliwi on i ułatwi poprawę odczynu gleb użytków rolnych. Jednak pełna ocena efektów wdrożenia programu możliwa będzie po jego zakończeniu.

Literatura

1. B o g u s z e w s k i W.: Wapnowanie gleb. PWRiL, Warszawa 1980, ss. 176.
2. C h ł o p e c k a A.: Wpływ różnych związków kadmu, miedzi, ołowiu i cynku na formy tych metali w glebie oraz na ich zawartość w roślinach. IUNG Seria R, Puławy 1994.
3. F i l i p e k T., S k o w r o Ń s k a M.: Aktualnie dominujące przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo w Polsce. *Acta Agrophysica*, 2013, **20(2)**: 283-294.
4. F i l i p e k T., F o t y m a M., L i p i Ń s k i W.: Stan, przyczyny i skutki zakwaszenia gleb ornych w Polsce. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilizaton*, 2006, **27**: 7-38.
5. F i l i p e k T.: Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilizaton*, 2001, **8**: 5-26.
6. F o t y m a M., Z i ę b a S.: Przyrodnicze i gospodarcze podstawy wapnowania gleb. Wyd. PWRiL, Warszawa, 1988, ss. 250. ISBN 83-09-01397-3.
7. G ę b s k i M.: Czynniki glebowe oraz nawozowe wpływające na przyswajanie metali ciężkich przez rośliny. 1998, *Postępy Nauk Rolniczych*, **5**: 3-16.
8. G r z e b i s z W., D i a t t a J.B., S z c z e p a n i a k W.: Produkcyjne i ekologiczne uwarunkowania wapnowania gleb gruntów ornych. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilizaton*, 2006, **27**: 69-85.
9. G r z e b i s z W., S z c z e p a n i a k W., D i a t t a J.B.: Środowiskowe skutki zakwaszenia gleb uprawnych. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **34(8)**: 19-26.
10. G r z e b i s z W., S z c z e p a n i a k W., D i a t t a J.B.: ABC wapnowania gleb uprawnych. Wyd. Prodruk, 2008, ss. 49.
11. K o p i Ń s k i J., N i e r ó b c a A., O c h a l P.: Ocen wpływu warunków pogodowych i zakwaszenia gleb w Polsce na kształtowanie produktywności roślinnej. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. 2013, t. 13, z. **2(42)**: 53-63.
12. K r a s o w i c z S., O l e s z e k W., H o r a b i k J., D ę b i c k i R., J a n k o w i a k J., S t u c z y Ń s k i T., J a d c z y s z y n J.: Racjonalne gospodarowanie środowiskiem glebowym Polski. *Polish Journal of Agronomy*, 2011, **7**: 43-58.
13. L i p i Ń s k i W.: Odczyn gleb Polski. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilizaton*, 2005, **23**: 33-40.
14. M e r c i k S. (red.): *Chemia rolna*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2004, ss. 287.
15. 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)**: 9-23.
16. 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. Raport Techniczny na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, IUNG-PIB w Puławach, 2017, s. 43.
17. O c h a l P., S m r e c z a k B.: Zakwaszenie gleb i aktualne zagadnienia wapnowania. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, Puławy 2020, **63(17)**: 9-19.
18. O c h a l P.: Regeneracyjne wapnowanie gleb w Polsce. Instrukcja upowszechnieniowa nr 198 IUNG-PIB, Puławy 2012, ss. 32.
19. O c h a l P.: Wykorzystanie syntetycznego wskaźnika do oceny stanu agrochemicznego gleb w Polsce. Praca doktorska (maszynopis) IUNG-PIB, Puławy 2011, ss. 107. .
20. *Rocznik statystyczny rolnictwa GUS*. Warszawa 2020, ss. 449.
21. 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*, Puławy 2018, **56(10)**: 9-20.
22. S i e b i e l e c G.: Stały Monitoring gleb użytków rolnych Polski. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, **51(5)**: 57-72.
23. 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 l 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 ę b a L., C h a b r o s E.: Raport z III etapu realizacji zamówienia „Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce w latach 2015–2017”. Puławy 2017, ss. 190.

-
24. Zalecenia nawozowe. Cz. I. Liczby graniczne dla wyceny zawartości w glebach makro i mikroelementów. IUNG Puławy, 1990, **P(44)**: 1-21.
25. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska. (Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627).
-

Adres do korespondencji:

dr inż. Jacek Niedźwiecki
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 4786780
e-mail: Jacek.Niedzwiecki@iung.pulawy.pl

AUTOR	ORCID
Jacek Niedźwiecki	0000-0003-0667-5060
Piotr Ochal	0000-0002-5246-3192

Agnieszka Klimkowicz-Pawlas

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

ŚRODOWISKOWE I ZDROWOTNE SKUTKI ZANIECZYSZCZENIA GLEB ORAZ METODY PRZECIWDZIAŁANIA*

Słowa kluczowe: zanieczyszczenia, drogi narażenia, zdrowie człowieka, nowo pojawiające się zanieczyszczenia, czynniki wpływające na efekty zdrowotne, przeciwdziałanie

Wstęp

Zdrowe gleby użytkowane rolniczo są kluczowym elementem do osiągnięcia celów Europejskiego Zielonego Ładu, tj. neutralności klimatycznej, przywrócenia różnorodności biologicznej, zdrowych i zrównoważonych systemów żywnościowych oraz odpornego środowiska. Jednak gleby często są zagrożone zanieczyszczeniem spowodowanym działalnością antropogeniczną, które według Międzyrządowego Panelu Technicznego ds. Gleb (ITPS) jest trzecim najistotniejszym zagrożeniem dla funkcji gleb w Europie (21). W dotychczasowych badaniach bardzo dużo uwagi poświęcano analizie środowiskowych skutków zanieczyszczenia gleb, tj. zmian, jakie zachodzą w ekosystemach glebowych, ich jakości i bioróżnorodności. Należy również pamiętać, iż stan środowiska glebowego ma istotny (negatywny lub pozytywny) wpływ na zdrowie i jakość życia ludzi (5). Negatywny wpływ degradacji gleb (również zanieczyszczenia) na zdrowie człowieka można przypisać pogorszeniu szeregu usług ekosystemowych świadczonych przez glebę, jak: dostarczanie żywności, sekwestracja dwutlenku węgla, dostępność wody, obieg składników pokarmowych, co przekłada się na pogorszenie jakości życia (40). Negatywny wpływ wynika również z bezpośredniego narażenia na działanie wielu różnych substancji chemicznych, często występujących w małych stężeniach, których skumulowane skutki są widoczne dopiero po długim okresie narażenia. Światowa Organizacja Zdrowia podaje, iż jedna czwarta chorób, z którymi borykają się ludzie obecnie, jest spowodowana długotrwałym narażeniem na zanieczyszczenia, z czego 70% stanowią choroby niez-

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.2 pt. „Gleby użytkowane rolniczo” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

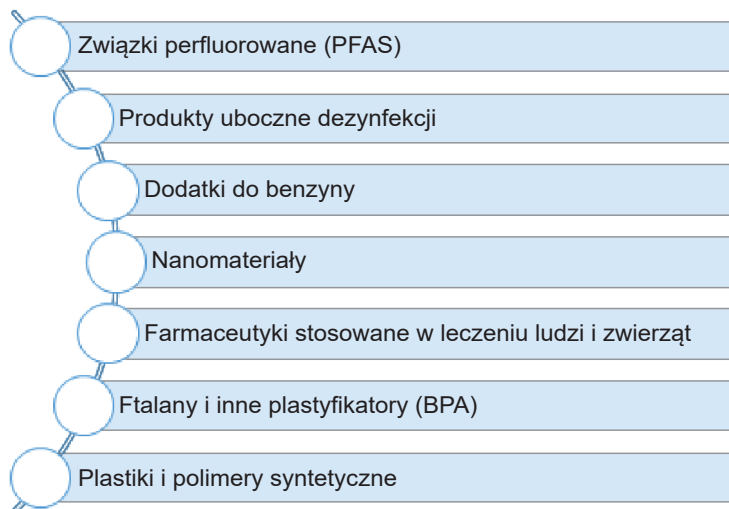
każne, takie jak nowotwory, choroby serca i płuc, cukrzyca czy choroby nerek (44). Zanieczyszczenia mogą zaburzać gospodarkę hormonalną, wpływać rakotwórczo, neurotoksycznie lub teratogennie, mogą również wywoływać stres oksydacyjny w komórkach i powodować produkcję białek stresowych (23). Według danych Komisji *Lancet* ds. zdrowia i zanieczyszczenia, w 2015 r. zanieczyszczenie środowiska było przyczyną około 9 mln przedwczesnych zgonów na świecie (44), a Europejska Agencja Ochrony Środowiska podaje, że zanieczyszczenia są przyczyną co ósmego zgonu w Unii Europejskiej (13). Nadmierne uwalnianie do środowiska niektórych zanieczyszczeń (np. antybiotyków) skutkuje nabywaniem odporności na środki przeciwdrobnoustrojowe (66). Jednym z założeń Europejskiego Zielonego Ładu jest dążenie do osiągnięcia zerowego poziomu emisji zanieczyszczeń do roku 2050, co wiąże się ze stopniowym ograniczaniem ilości produkowanych odpadów oraz uwalniania do środowiska substancji szkodliwych, m.in. pestycydów, antybiotyków i mikroplastików (13). Celem opracowania jest analiza skutków środowiskowych i zdrowotnych związanych z obecnością różnych grup zanieczyszczeń w środowisku glebowym oraz wskazanie sposobów zmniejszenia ryzyka dla zdrowia.

Rodzaje zanieczyszczeń i ich źródła

Substancje chemiczne zanieczyszczające środowisko glebowe i stanowiące potencjalne zagrożenie dla środowiska i zdrowia ludzi można podzielić na organiczne i nieorganiczne. Najpowszechniej występującymi nieorganicznymi zanieczyszczeniami gleby są pierwiastki śladowe, takie jak: arsen (As), kadm (Cd), chrom (Cr), miedź (Cu), rtęć (Hg), ołów (Pb), mangan (Mn), nikiel (Ni), cynk (Zn) oraz radionuklidy (23). Pierwiastki takie jak: bor (B), Cu, Cr, Zn, molibden (Mo), selen (Se) są niezbędne do prawidłowego przebiegu procesów metabolicznych, natomiast Pb, Cd, Hg nie pełnią żadnych funkcji fizjologicznych i są toksyczne dla organizmów żywych i człowieka (76). Do najważniejszych zanieczyszczeń organicznych zalicza się substancje ropopochodne, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), związki chloroorganiczne (OCP, ang. *organochlorine pesticides*), dioksyny, polichlorowane difenyle (PCB) oraz pestycydy obejmujące różne grupy substancji (88, 23). Zanieczyszczenia organiczne pochodzą głównie ze źródeł antropogenicznych, a jedynie w niewielkim stopniu są uwalniane do środowiska z procesów naturalnych, takich jak pożary czy erupcje wulkanów (88, 76). Niektóre z tych substancji były lub są produkowane do określonych zastosowań w rolnictwie (jako pestycydy, np. dichlorodifenylotrichloroetan (DDT), dieldryna, heksachlorobenzen, heksachloroheksan (HCH)) lub w przemyśle (jako chemikalia czy półprodukty, np. PCB, benzen, toluen) (23). Część zanieczyszczeń organicznych (OCP, dioksyny, PCB, WWA, związki perfluorowane) zaliczana jest do trwałych zanieczyszczeń organicznych (ang. *Persistent Organic Pollutants*); są to substancje odporne na degradację chemiczną i biologiczną, wykazujące potencjał do przenoszenia na dalekie odległości, zdolność do akumulowania w tkance tłuszczowej organizmów żywych i przechodzenia do łańcucha pokarmowego człowieka (75, 76). Ze względu na trwałość i potencjalną

toksyczność substancje te objęte są postanowieniami Konwencji sztokholmskiej w sprawie trwałych zanieczyszczeń organicznych (92), która wprowadza ograniczenia dotyczące ich wykorzystania, transportu oraz nakłada obowiązek ich eliminacji z produkcji.

Dużym wyzwaniem w ocenie zagrożenia dla środowiska oraz zdrowia ludzi są obecnie tzw. nowo pojawiające się zanieczyszczenia (EC, ang. *emerging contaminants*) (rys. 1).

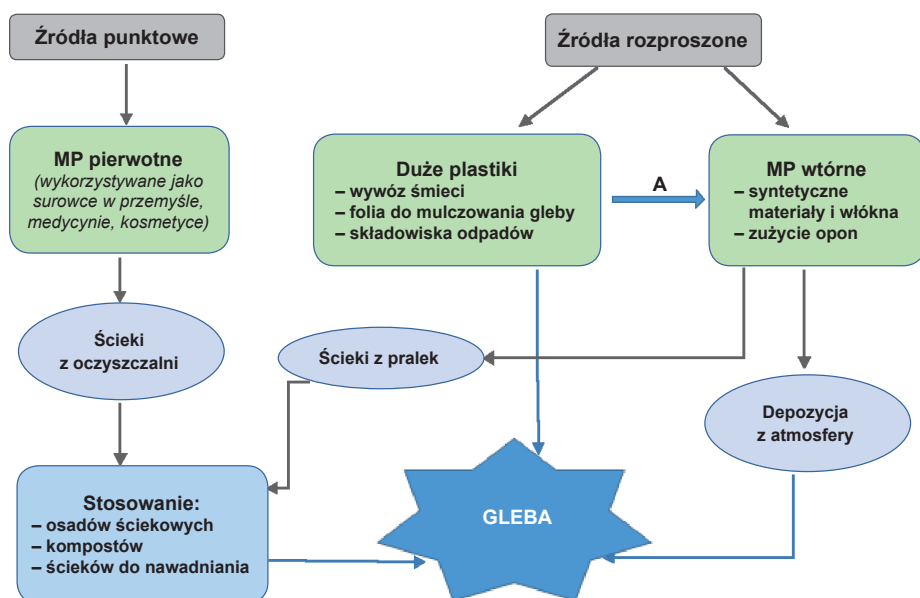


Rys. 1. Przykłady nowo pojawiających się zanieczyszczeń

Źródło: opracowanie własne na podstawie Geissen i in., 2015 (28), Gavrilesco i in., 2015 (27), FAO i UNEP, 2021 (23)

Jest to szeroka i zróżnicowana grupa związków chemicznych, głównie pochodzenia syntetycznego, organicznych i nieorganicznych, obejmująca ponad 20 grup substancji, z których najpowszechniej występują: związki perfluorowane (PFAS), farmaceutyki (pozostałości leków weterynaryjnych oraz antybiotyków), ftalany i inne plastyfikatory (np. bisfenol A – BPA), pozostałości środków do dezynfekcji, sztuczne nanomateriały, pierwiastki ziem rzadkich oraz plastiki i polimery syntetyczne (16, 23, 27, 28, 46). Substancje te występują we wszystkich elementach środowiska (wody, powietrze, gleby) (28), charakteryzują się dużą trwałością oraz zdolnością do bioakumulacji, mogą być toksyczne dla organizmów glebowych (100, 32) i prawdopodobnie szkodliwe dla człowieka (16, 33, 59). Niektóre z tych zanieczyszczeń ze względu na trwałość w środowisku (np. PFAS) objęte są postanowieniami Konwencji sztokholmskiej (92). Szczególną uwagę zwraca się ostatnio na obecność w glebach związków perfluorowanych (16, 59, 91) oraz mikro- i nanoplastików (98, 17, 32, 73, 98, 100, 101). Substancje perfluoroalkilowe (PFAS) są związkami wysoce trwałymi i stabilnymi w środowisku, o dużym potencjale do bioakumulacji i transportu na duże odległości

(61, 49, 59). Związki te były produkowane od lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku i szeroko stosowane w gospodarstwach domowych i przemyśle, m.in. w piankach przeciwpożarowych, naczyniach kuchennych o nieprzywierającej powierzchni, opakowaniach do żywności oraz tkaninach wodoodpornych i ognioodpornych (59). PFAS pochodzą głównie ze składowisk odpadów, terenów przemysłowych, oczyszczalni ścieków oraz obszarów, w których miały miejsce duże pożary lub przeprowadzano szkolenia przeciwpożarowe (49). Kolejną istotną ze środowiskowego punktu widzenia grupą zanieczyszczeń gleby są mikro- i nanoplastiki (45, 73, 74). Są to trwałe tworzywa syntetyczne o wielkości mniejszej niż 5 mm lub 100 nm, występujące w różnych formach morfologicznych, np. w postaci kulek, fragmentów folii lub włókien (33, 100, 101). Głównym źródłem mikroplastików w glebie są składowiska odpadów oraz działalność rolnicza związana ze stosowaniem kompostów i nawozów organicznych, osadów ściekowych, ścieków do nawadniania oraz folii polietylenowych do mulczowania gleby (23, 32, 33) (rys. 2). W osadach ściekowych najczęściej występują: polietylen, polipropylen, polichlorek winylu i polistyren (101). Ponadto źródłem mikroplastików jest również ścieranie opon samochodowych, spływy z dróg asfaltowych i depozycja atmosferyczna (101). Zanieczyszczenia te mogą być pobierane przez organizmy glebowe, przenoszone przez łańcuch żywnościowy i mogą stwarzać potencjalne ryzyko dla zdrowia człowieka (33). Mikroplastiki mogą być również wektorami hydrofobowych zanieczyszczeń organicznych, tj.: PCBs, OCP, WWA, a także metali, tj.: Ni, Zn, Cd i Pb (17, 32, 98, 100, 101).



Rys. 2. Źródła zanieczyszczenia gleb mikroplastikami (MP);

A – degradacja fizyczna, biologiczna oraz pobieranie przez organizmy

Źródło: opracowanie własne na podstawie Guo i in., 2020 (32)

Zanieczyszczenie gleby może mieć charakter lokalny lub rozproszony. Rozproszone zanieczyszczenie gleby nie ma pojedynczego lub łatwego do zidentyfikowania źródła i zwykle obejmuje duże obszary (21, 65). Najważniejszym źródłem zanieczyszczeń rozproszonych na terenach rolniczych jest długotrwałe stosowanie niskiej jakości nawozów mineralnych zawierających zanieczyszczenia, niekontrolowane aplikowanie osadów ściekowych, intensywne stosowanie pestycydów oraz obornika zawierającego np. pozostałości leków weterynaryjnych (21, 41, 76). Istotnym źródłem zanieczyszczenia gleb jest daleki transport zanieczyszczeń zawieszonych na drobnych cząstkach pyłów (które osadzają się na roślinach, a następnie wraz z resztkami roślinnymi wprowadzane są do gleb) oraz procesy zalewowe i erozyjne (ulegające nasileniu wskutek występowania ekstremalnych warunków pogodowych) (3, 76).

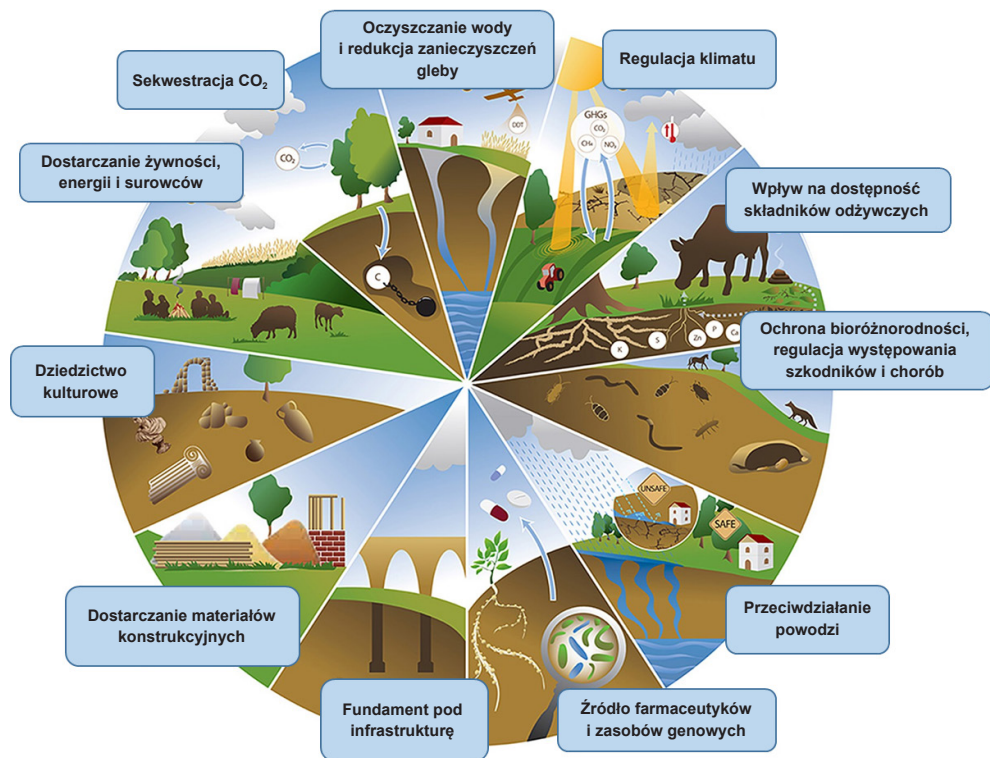
Zanieczyszczenia gleby o charakterze lokalnym dotyczą niewielkich powierzchni, a ich występowanie wiąże się najczęściej z intensywną działalnością przemysłową, nieodpowiednim składowaniem i przetwarzaniem odpadów oraz wydobywaniem i przetwórstwem kopalni (m.in. rud metali) (76). Zagrożenia zanieczyszczeniami o charakterze punktowym dotyczą głównie terenów przemysłowych i poprzemysłowych, zurbanizowanych oraz obszarów w pobliżu tras transportowych i składowisk odpadów (65). Duże ilości odpadów i intensywne stosowanie chemikaliów w ciągu ostatnich dziesięcioleci doprowadziły do powstania licznych zanieczyszczonych miejsc w całej Europie. Miejsca te są ważnymi źródłami zanieczyszczeń i mogą stanowić znaczące zagrożenie dla ekosystemu i zdrowia człowieka (76). Szacuje się (23), że w Europie około 2,8 mln obszarów to tereny potencjalnie zanieczyszczone, z czego zidentyfikowano i objęto działaniami około 650 tysięcy obszarów.

Poza substancjami chemicznymi gleby mogą być również źródłem patogennych drobnoustrojów (5, 6) oraz genów oporności na antybiotyki (ARG, ang. *antibiotic resistance genes*) (8, 12, 42, 43, 66). Źródłem patogenów (*Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Shigella* sp., nicienie, pasożyty) mogą być: skażona woda, odchody zwierząt lub ludzi, a także odpady komunalne i kliniczne (6, 103). Głównym źródłem zanieczyszczenia gleb lekoopornymi bakteriami (ARB, ang. *antibiotic resistant bacteria*) oraz ARG są ścieki z komunalnych i szpitalnych oczyszczalni ścieków, osady ściekowe i nawozy organiczne (np. obornik lub pomiot kurzy) pochodzące z intensywnej hodowli zwierzęcej, gdzie antybiotyki stosowane są w celach leczniczych lub jako stymulatory wzrostu (8, 12, 39, 52, 66).

Środowiskowe skutki zanieczyszczenia gleb

Zdrowie człowieka jest zazwyczaj definiowane przez lekarzy i społeczeństwo jako brak choroby (78), natomiast w szerszym kontekście zdrowie człowieka to „stan pełnego fizycznego, psychicznego i społecznego dobrostanu, a nie tylko brak choroby lub stan niedomagania organizmu” (96). Według Brevika i in. (7), gleba ma istotny wpływ na stan zdrowia i jakość życia ludzi, a wpływ ten może zaznaczać się w sposób bezpośredni lub pośredni. Gleby są powiązane z szerokim zakresem usług

ekosystemowych, m.in. wspierających zdrowie człowieka (rys. 3). Obejmują one usługi: zaopatrzeniowe (dostarczanie żywności, wody, drewna, włókien, surowców i fizycznego wsparcia dla infrastruktury); regulacyjne (łagodzenie skutków powodzi, filtrowanie składników odżywczych i zanieczyszczeń, magazynowanie dwutlenku węgla i regulacja emisji gazów cieplarnianych, detoksykacja i recykling odpadów, regulacja populacji szkodników i chorób); kulturowe (rekreacja, korzyści estetyczne i duchowe) oraz wspomagające, takie jak obieg składników odżywczych (5, 55, 103).



Rys. 3. Główne usługi ekosystemowe gleb

Źródło: FAO ikonografiki, zmodyfikowane (104)

Negatywny wpływ degradacji gleb (również zanieczyszczenia) na zdrowie człowieka można przypisać pogorszeniu szeregu usług ekosystemowych świadczonych przez glebę, jak: dostarczanie żywności, sekwestracja dwutlenku węgla, dostępność wody, obieg składników pokarmowych, co przekłada się na pogorszenie jakości życia (23, 40, 76).

Zanieczyszczenie gleby jest jednym z głównych czynników wpływających na obniżenie lub/i utratę różnorodności biologicznej gleby (60, 62). Zanieczyszczenia (metale, WWA, pestycydy, antybiotyki, mikroplastiki itp.) mogą wpływać toksycznie

na organizmy glebowe, powodując zmiany w ich biomacie, liczebności, aktywności enzymatycznej i metabolicznej oraz w strukturze zbiorowisk (15, 23, 58). Częstym bezpośrednim skutkiem oddziaływania zanieczyszczeń na organizmy glebowe jest obniżenie tempa wzrostu i reprodukcji, skrócenie cyklu życiowego oraz śmiertelność (101). Natomiast długotrwałe narażenie na niskie stężenia substancji zanieczyszczających glebę może prowadzić do wytworzenia strategii adaptacyjnych oraz zastępowania gatunków wrażliwych gatunkami bardziej odpornymi na zanieczyszczenia (23). Gleba jest również naturalnym źródłem leków: antybiotyków i innych środków farmaceutycznych (6). Z drugiej jednak strony nadmierne stosowanie antybiotyków w medycynie i weterynarii może powodować rozprzestrzenianie się w środowisku genów oporności na antybiotyki (43, 66). Dochodzi do tego w wyniku spontanicznych mutacji, przejścia genów oporności na antybiotyki (ARG) od innych bakterii na drodze horyzontalnego transferu genów lub poprzez zakażenie bakteriofagami (6), co prowadzi do zmian w całej społeczności mikroorganizmów (76). Potencjalne przenoszenie ARG z bakterii środowiskowych na patogeny ludzkie może istotnie zmniejszyć skuteczność antybiotyków, stwarzając poważne zagrożenie dla zdrowia publicznego (8, 12, 66). Do najczęściej wykrywanych w glebie należą geny związane z opornością na tetracykliny (*tet*), erytromycynę (*erm*) i sulfonamidy (*sul*) (12, 39, 48, 66). Zaobserwowano również, że narażenie na niektóre pierwiastki śladowe może wywoływać odporność u mikroorganizmów glebowych, a także promować oporność na środki przeciwdrobnoustrojowe (29).

Zmiany w aktywności biologicznej gleby prowadzą do obniżenia tempa rozkładu ściółki i świeżej materii organicznej, wpływając na cykle biogeochemiczne na zanieczyszczonych obszarach, co w efekcie skutkuje zmniejszeniem zawartości węgla organicznego oraz dostępności składników odżywczych (45, 74, 85, 100). Według Wag g i in. (93), zmiany w strukturze zbiorowisk mikroorganizmów glebowych mogą prowadzić do zaburzeń przemian fosforu i azotu, co przekłada się na nadmierne wymywanie składników do wód gruntowych lub prowadzi do emisji gazów cieplarnianych, takich jak tlenki azotu. Utrata glebowej materii organicznej oraz zmniejszenie aktywności organizmów glebowych prowadzi również do pogorszenia fizycznej jakości gleb oraz zwiększenia ich podatności na procesy erozji (23). Fizyczna struktura gleby może ulec degradacji na skutek obecności w niej zanieczyszczeń, np. mikroplastików, nanomateriałów lub substancji ropopochodnych. Obserwowano zmiany w takich parametrach, jak: rozkład wielkości porów, pojemność wodna, gęstość objętościowa gleby oraz stabilność agregatów glebowych (32, 101). Mikroplastiki obecne w glebie mogą adsorbować inne zanieczyszczenia organiczne (np. pestycydy, WWA) lub metale, ale mogą również stanowić mikrosiedlisko dla mikroorganizmów glebowych (33).

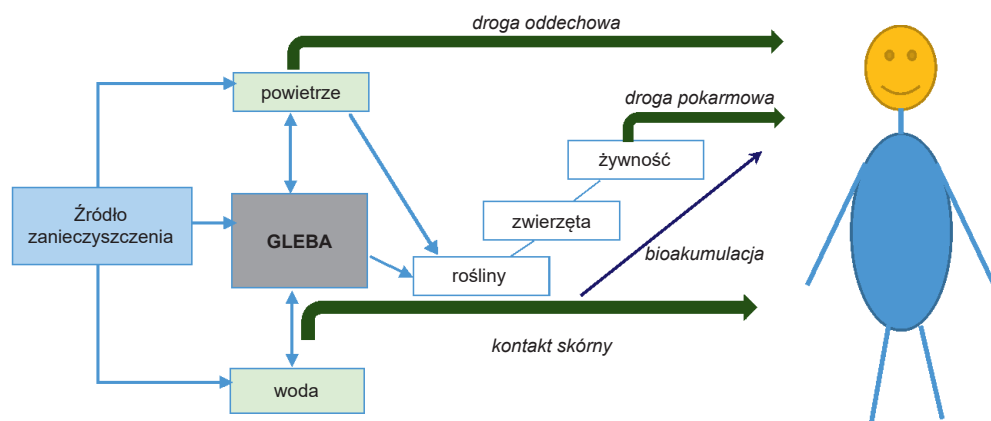
Jedną z głównych funkcji ekologicznych pełnionych przez glebę jest filtrowanie, buforowanie i przekształcanie zanieczyszczeń nieorganicznych i organicznych, co zapewnia dobrą jakość wód gruntowych i bezpieczną produkcję żywności, a w konsekwencji ochronę zdrowia ludzi. Głównymi czynnikami decydującymi o zatrzymywa-

niu i losach zanieczyszczeń w glebie oraz ich pobieraniu przez rośliny i oddziaływaniu na organizmy są procesy sorpcji i desorpcji (76). Pogarszanie się właściwości gleby decydujących o retencji zanieczyszczeń (pH, materii organicznej, frakcji koloidalnej) ogranicza zdolności filtracyjne gleby, co może prowadzić do nadmiernego uwalniania zanieczyszczeń lub składników odżywczych do wód podziemnych i powierzchniowych lub łańcucha pokarmowego (4) oraz stanowić zagrożenie dla zdrowia ludzi.

Zanieczyszczenie gleby wpływa na obniżenie wielkości plonowania i pogorszenie jakości produkowanej żywności, a tym samym na ekonomikę rolnictwa i dochody rolników (23) oraz bezpieczeństwo żywnościowe (21). Szacuje się, że zanieczyszczenie gleby jest odpowiedzialne za utratę produktywności rolnej w wysokości 15–25%. Poważne zanieczyszczenie gleby prowadzi do degradacji gruntów i braku możliwości wykorzystania ich do celów produkcyjnych, mieszkaniowych i rekreacyjnych, co ostatecznie przyczynia się do porzucania gruntów i spadku wartości terenów przyległych (23). Konsekwencją zanieczyszczenia gleb i obniżenia bioróżnorodności może być ograniczenie dostępu do terenów zielonych i rekreacyjnych (5). Badania Sandi fera i in. (78) wykazały, że już krótkotrwałe przebywanie w lasach lub parkach miejskich zmniejsza stres i objawy depresyjne, poprawia samoocenę i nastrój, wpływa więc pozytywnie na zdrowie człowieka.

Drogi narażenia

Narażenie człowieka na działanie substancji zanieczyszczających glebę odbywa się kilkoma potencjalnymi drogami, a znaczenie każdej z nich różni się w zależności od rodzaju zanieczyszczenia, właściwości gleby, rodzaju receptora oraz warunków i działalności prowadzonej na danym terenie (10, 76). Główne drogi narażenia to droga pokarmowa, oddechowa oraz dermalna (rys. 4). Narażenie drogą pokarmową może być wynikiem celowego spożywania gleby, określanego jako geofagia (82) lub przypadkowego spożycia zanieczyszczonej żywności, wody, gleby lub pyłu (85). Szacuje się, że dzienne spożycie gleby na skutek geofagii może się wahać od 5 do 70 g i średnio wynosi około 50 g (23). Jednak główną drogą przedostawania się zanieczyszczeń gleby do organizmu człowieka (ponad 90%) jest spożycie żywności zarówno pochodzenia roślinnego (np. warzyw), jak i zwierzęcego (np. mięso i produkty mleczne), która uległa skażeniu na skutek bioakumulacji zanieczyszczeń lub osadzania się pyłów z atmosfery (76, 90, 103). W ten sposób mogą być wprowadzane do organizmu człowieka pierwiastki śladowe, radionuklidy, zanieczyszczenia organiczne (np. pestycydy czy WWA) oraz bakterie odporne na środki przeciwdrobnoustrojowe (23).



Rys. 4. Główne drogi narażenia człowieka na zanieczyszczenia

Źródło: opracowanie własne na podstawie Swartjes i Cornelis, 2011 (90) oraz FAO i UNEP, 2021 (23)

Narażenie drogą oddechową ma mniejsze znaczenie, wiąże się z wdychaniem pyłu pochodzącego z gleby (3, 50, 83, 102) oraz lotnych (np. benzen, toluen, etylobenzen, ksylen – BTEX) i średnio lotnych (np. pestycydy, WWA, polibromowane etery difenyłowe (PBDEs)) związków organicznych (2, 9, 23, 85) i jest często związane z narażeniem zawodowym, m.in. rolników (opary agrochemikaliów), czy też pracowników składowisk odpadów i przedsiębiorstw zajmujących się usuwaniem zanieczyszczeń. Niektóre z zanieczyszczeń (pestycydy, plastyfikatory, pierwiastki śladowe) mogą przenikać naturalną barierę, jaką jest skóra (droga dermalna) i wnikać do organizmu człowieka (23, 90, 103). Narażenie człowieka na zanieczyszczenia może być również wynikiem wtórnego zanieczyszczenia zasobów wodnych oraz osadzania się zanieczyszczeń z powietrza (76).

Metody oceny wpływu zanieczyszczenia gleb na zdrowie człowieka

W analizie skutków zdrowotnych narażenia człowieka na zanieczyszczenia wykorzystuje się dwa podejścia: klasyczne toksykologiczne bazujące na szacowaniu ryzyka zdrowotnego (89) oraz epidemiologiczne, w którym analizuje się rzeczywiste skutki zdrowotne w populacji (35). Analiza ryzyka zdrowotnego obejmuje: gromadzenie dostępnych danych o poziomie zanieczyszczenia gleb, ich źródłach i rodzajach; szacowanie dawki pobranej (CDI, ang. *Chemical Daily Intake*); określenie zależności dawka–efekt poprzez porównanie CDI z wartościami referencyjnymi (ang. *Reference Dose*, *Reference Concentration*) (11, 50, 71, 90). Do oceny narażenia człowieka na zanieczyszczenia gleb wykorzystuje się zróżnicowane modele

narażenia, np. CSOIL stosowany jest w Holandii (11), CLEA w Wielkiej Brytanii (37), a RISKNET we Włoszech. Szersza analiza i charakterystyka modeli stosowanych w Europie zawarta jest w opracowaniu Hoeka i in. (35). Metody analizy ryzyka zdrowotnego dotyczą najczęściej oceny pojedynczego zanieczyszczenia, co może prowadzić do niedoszacowania rzeczywistego ryzyka, ponieważ człowiek jest narażony na oddziaływanie mieszanin wielu zanieczyszczeń. Ponadto metody te nie uwzględniają interakcji pomiędzy chemicznymi i środowiskowymi czynnikami stresowymi, a wynik takiej oceny zależy od dostępnych danych toksykologicznych, które wymagają często stosowania arbitralnych współczynników bezpieczeństwa (35, 89). Druga metoda oceny skutków zdrowotnych polega na przeprowadzeniu badań epidemiologicznych w celu analizy związku pomiędzy narażeniem a rzeczywistym stanem zdrowia bezpośrednio w dotkniętej populacji mieszkańców (35). Analiza przeprowadzona na potrzeby realizacji projektu Soils4EU realizowanego w IUNG-PIB (40) wykazała, że większość dostępnych danych na temat skutków epidemiologicznych spowodowanych zanieczyszczeniem gleby pochodzi z prac naukowych. W tego typu badaniach w ocenie narażenia najczęściej wykorzystywane są badania biomonitoringowe (HBM, ang. *Human Biomonitoring*) polegające na analizie zawartości zanieczyszczeń w płynach ustrojowych, takich jak krew (9, 18, 34, 53), mocz (47, 64) czy mleko karmiących matek (30) lub w tkankach, np. paznokciach, włosach lub tkance skórnej (67). Rzadziej natomiast wykorzystuje się w tym celu analizy oparte na modelowaniu (19, 35, 69). Natomiast najczęściej badane skutki zdrowotne to: współczynniki śmiertelności i zachorowalności (1, 14, 68), liczba hospitalizacji, występowanie nowotworów (24, 51, 57, 94) oraz wad wrodzonych u dzieci (53). Wszystkie dostępne badania epidemiologiczne oparte są na okresowo gromadzonych danych statystycznych i rejestrach hospitalizacji (1, 35, 69). Badania epidemiologiczne skutków zanieczyszczenia gleb również nie zawsze dają jednoznaczną informację o związkach pomiędzy zanieczyszczeniem a zdrowiem człowieka ze względu na pewne ograniczenia, które były wskazywane przez samych autorów, jak: brak ilościowych wskaźników narażenia populacji (14), występowanie tzw. czynników zakłócających, np. współistnienie innych chorób czy palenie papierosów (24) lub uwzględnianie w badaniach głównie osób dorosłych (51, 68).

Potencjalne skutki zdrowotne zanieczyszczenia gleb

Skutki zdrowotne powodowane przez zanieczyszczenia można podzielić na miejscowe – związane z działaniem na określone narządy (np. płuca, skórę, jelita, wątrobę i nerki) w miejscu kontaktu lub spożycia oraz ogólnoustrojowe – wynikające z wchłonięcia i rozprządzenia zanieczyszczeń w organizmie człowieka poprzez krążenie ogólnoustrojowe. Efekty zdrowotne są wynikiem różnych mechanizmów oddziaływania zanieczyszczeń na organizm człowieka (tab. 1). Substancje takie jak: arsen, bisfenol A, dioksyne, WWA, PCBs, ftalany, niektóre pestycydy (DDT,

HCH) oraz PBDEs wykazują wpływ na gospodarkę hormonalną i określane są jako *endocrine disruptors* (EDs). Ich szkodliwy wpływ wynika z budowy chemicznej podobnej do hormonów, dzięki czemu mogą działać jak hormony i zastępować je w receptorach, powodując zmiany w ich prawidłowym działaniu, syntezie i metabolizmie (9, 16, 77, 80). Niektóre zanieczyszczenia (pierwiastki: Cr, Cd, Ni, Co oraz WWA) mogą być genotoksyczne i mutagenne, powodują uszkodzenia informacji genetycznej w komórce poprzez zmiany w chromosomach lub DNA oraz mutacje genów (75, 87). Najczęstsze efekty zdrowotne wynikające z genotoksyczności i mutagenności zanieczyszczeń to: występowanie nowotworów, przyspieszone starzenie się, zaburzenia immunologiczne, choroby układu krążenia i neurodegeneracyjne, a także poronienia, bezpłodność czy wady wrodzone u dzieci (23, 75). Działanie teratogenne zanieczyszczeń związane jest z ich wpływem na rozwój płodu w okresie prenatalnym, czego efektem mogą być wady rozwojowe, opóźnienie wzrostu, zaburzenia rozwoju neurologicznego, zaburzenia funkcjonalne, a nawet śmierć prenatalna (75). Za teratogenne zanieczyszczenia występujące w glebie uważa się PCB, pestycydy, rozpuszczalniki, ołów oraz rtęć organiczną (20). O neurotoksyczności mówimy wówczas, kiedy narażenie na substancje chemiczne powoduje negatywne zmiany w strukturze i/lub normalnej aktywności układu nerwowego. Neurotoksyczne oddziaływanie wykazuje szereg zanieczyszczeń, m.in. As, Pb, Hg, PCB, pestycydy chloroorganiczne, PBDEs, WWA, ftalany oraz BPA, a najczęściej obserwowane skutki zdrowotne to: autyzm, zaburzenia z deficytem uwagi, niepełnosprawność intelektualna i obniżone IQ lub porażenie mózgowe (38, 56, 72, 79).

Tabela 1

Potencjalne skutki zdrowotne powodowane przez wybrane zanieczyszczenia

Zanieczyszczenie	Efekty zdrowotne	Literatura
Pierwiastki śladowe		
Cd	rak piersi, zaburzenia hormonalne (wpływ na hormony tarczycy), niewydolność jajników u kobiet, choroby nerek	Filippini i in. 2020 (25) Di Nisio i Foresta 2019 (16) Pan i in. 2021 (64) WHO 2013 (97)
Metale (Co, Cu, Sn)	ADHD	Li i in. 2020 (47)
As	zaburzenia gospodarki hormonalnej, nowotwory, choroby układu krążenia, zmiany neurologiczne, hematologiczne i immunologiczne	FAO i UNEP 2021 (23) Kaur i in. 2021 (38) Rahman i in. 2020 (72) Naidu i in. 2021 (60)
Pb	teratogeny (wady wrodzone), neurotoksyczność, choroby układu krążenia, choroby nerek	FAO i UNEP 2021 (23) Kaur i in. 2021 (38) Rahman i in. 2020 (72) Landrigan i in. 2018 (44) WHO 2013 (97) Naidu i in. 2021 (60)

Zanieczyszczenie	Efekty zdrowotne	Literatura
Zanieczyszczenia organiczne		
Lotne związki organiczne (BTEX)	zmiany hematologiczne (anemia, leukemia), rakotwórczość, wpływ na układ oddechowy (astma)	FAO i UNEP 2021 (23) IARC 2021 (36)
Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA)	działanie genotoksyczne i mutagenne, wpływ na układ hormonalny (działanie estrogenne i antyestrogenne), stany zapalne, nowotwory gruczołu sutkowego; rak płuc, pęcherza moczowego i skóry, choroby układu krążenia, cukrzyca, zaburzenia układu odpornościowego	Rodgers i in. 2018 (75) Sun i in. 2020 (87) Roslund i in. 2019 (77) FAO i UNEP 2021 (23) Naidu i in. 2021 (60)
Pestycydy chloroorganiczne (DDT, DDE, HCB, lindan, dieldryna, aldryna, toksafen, mirex i HCB)	zakłócanie równowagi i gospodarki hormonalnej, działanie estrogenne i antyandrogenne u mężczyzn, neurotoksyczność, chłoniak niezłośliwy, rak jądra, rak piersi	Bornman i in. 2018 (9) Rodgers i in. 2018 (75) Qu i in. 2019 (71) FAO i UNEP 2021 (23) Mir i in. 2020 (56)
Pestycydy (chlorpyrifos, paration, malation, atrazyna)	neurotoksyczność, nowotwory sutka, astma, alergie, zaburzenia płodności, wady prenatalne, objawy neurologiczne	Rahman i in. 2020 (72) Rodgers i in. 2018 (75) FAO i UNEP 2021 (23)
Dioksyny	nowotwory u kobiet, rak piersi, mięsak tkanek miękkich, chłoniak niezłośliwy, immunotoksyczność, teratogenne (wady rozwojowe), wpływ na gospodarkę hormonalną	Warner i in. 2011 (94) Rodgers i in. 2018 (75) FAO i UNEP 2021 (23) Naidu i in. 2021 (60)
Polichlorowane difenyle (PCB)	zaburzenia endokrynologiczne (aktywność pseudoestrogenowa i antyestrogenowa, powiększenie tarczycy oraz zmiany w produkcji hormonów – niedoczynność lub nadczynność tarczycy), immunotoksyczność, chłoniak niezłośliwy, czerniak złośliwy, rak piersi	Rodgers i in. 2018 (75) Egorova i Buzmakov 2020 (20) Donato i in. 2008 (18) Maifredi i in. 2011 (51)
Emerging contaminants		
Związki perfluorowane (PFAS, PFOA, PFOS)	zaburzenia hormonalne (choroby tarczycy, zmiany poziomu hormonów tarczycy), rakotwórcze (rak piersi), obniżenie płodności u kobiet (PFOS i PFOA), zaburzenia funkcji rozrodczych u mężczyzn, zaburzenia metabolizmu tłuszczów, choroby układu krążenia, otyłość, nadciśnienie, hepatotoksyczność	Dzierlenga i in. 2020 (19) Steenland i in. 2010 (84) Tsai i in. 2020 (91) Di Nisio i Foresta 2019 (16) Lei i in. 2015 (46) FAO i UNEP 2021 (23) Naidu i in. 2020 (59)
Związki polibromowane (PBDEs)	zaburzenia hormonalne (choroby tarczycy) neurotoksyczność (nadpobudliwość, trudności poznawcze), nowotwory tarczycy, jajnika, piersi	Sheikh i Beg 2020 (80) FAO i UNEP 2021 (23)

cd. tab. 1

Zanieczyszczenie	Efekty zdrowotne	Literatura
Produkty uboczne dezynfekcji	rakotwórcze; potencjalny wpływ na funkcje rozrodcze (niepłodność, poronienia, wady rozwojowe)	Lei i in. 2015 (46)
Dodatki do benzyny	rakotwórcze	Lei i in. 2015 (46)
Nanomateriały	nowotwory płuc, neurotoksyczność, zaburzenia funkcji poznawczych, stres oksydacyjny i stany zapalne	Rahman i in. 2020 (72) Lei i in. 2015 (46) FAO i UNEP 2021 (23)
Farmaceutyki stosowane w medycynie i weterynarii	zaburzenia hormonalne, stany zapalne, zmiany w płodności, zmiany w układzie oddechowym (astma), występowanie antybiotykooporności i lekooporności	Lei i in. 2015 (46) FAO i UNEP 2021 (23) Kuppusamy i in. 2018 (43)
Ftalany i inne plastyfikatory (BPA)	ciężowy zespół metaboliczny, ADHD u dzieci, wpływ na gospodarkę hormonalną (działanie estrogenne i antyestrogenne), teratogenność (wady prenatalne), wpływ na układ rozrodczy, wpływ na układ oddechowy	Gao i in. 2021 (26) Praveena i in. 2020 (70) De-la-Torre 2020 (17) Di Nisio i Foresta 2019 (16) Ramasamy i Palanisamy 2021 (73) FAO i UNEP 2021 (23)
Plastiki i polimery syntetyczne	stres oksydacyjny i zmiany zapalne, zaburzenia oddechowe, zapalenie płuc	FAO i UNEP 2021 (23) Wright i Kelly 2017 (98) Ramasamy i Palanisamy 2021 (73)

Źródło: opracowanie własne na podstawie literatury

Zanieczyszczenia mogą również wywoływać stres oksydacyjny w komórkach (63) oraz produkcję białek stresowych (87), a także wykazywać działanie rakotwórcze (20). Rozwój nowotworów, w tym raka piersi, białaczki i raka tarczycy, zaobserwowano u ludzi narażonych na podwyższone stężenia DDT/DDE i dioksyn (9, 75). Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (36) opracowała klasyfikację dotyczącą identyfikacji zagrożeń rakotwórczych dla ludzi. Wydzielono cztery kategorie zanieczyszczeń w zależności od potencjalnego ryzyka rakotwórczego; przykłady substancji wykazujących różny stopień rakotwórczości przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Klasyfikacja oraz przykłady zanieczyszczeń rakotwórczych

Grupa	Klasyfikacja	Liczba substancji	Zanieczyszczenia
1	rakotwórcze dla ludzi	120	azbest, As, Cd, Cr(VI), Ni, PCBs,
2A	prawdopodobnie rakotwórcze	88	glifosat, nieorganiczne związki Pb
2B	potencjalnie rakotwórcze	313	metylo-Hg, ftalany
3	niesklasyfikowane jako rakotwórcze	499	Cr(III)

Źródło: IARC, 2021 (36)

Światowa Organizacja Zdrowia (97) wskazała kilka zanieczyszczeń występujących w glebach jako najbardziej istotne dla zdrowia publicznego: As, Cd, Pb, Hg, dioksyny, pestycydy i azbest. Zanieczyszczenia te znane są ze skutków zdrowotnych, takich jak działanie rakotwórcze (As, azbest i dioksyny), wady neurologiczne i obniżenie ilorazu inteligencji (As i Pb), choroby nerek (Pb, Hg i Cd) oraz choroby układu kostnego (Pb) (97).

Większość informacji o wymienionych wyżej skutkach zdrowotnych powodowanych przez zanieczyszczenia bazuje na wynikach badań toksykologicznych substancji chemicznych prowadzonych w warunkach laboratoryjnych (tab. 1), natomiast niewiele jest danych epidemiologicznych pochodzących z badań prowadzonych na terenach zanieczyszczonych; ich przykłady przedstawiono w tabeli 3. W badaniach tych uwzględniano najczęściej jedną grupę zanieczyszczeń (18, 53, 91, 94) lub pojedyncze pierwiastki (47, 64), tylko w kilku pracach analizowano związki pomiędzy mieszaniną różnych substancji a skutkami zdrowotnymi u ludzi (68, 14, 57). Narażenie oceniano na podstawie analizy zawartości zanieczyszczeń w glebie (51), w płynach ustrojowych takich jak krew (18, 53, 91, 94) i mocz (64) lub korzystano z dostępnych danych monitoringowych (68, 14, 57). Najczęściej oceniano skutki zdrowotne zanieczyszczenia gleb u dorosłych (51, 57, 64), natomiast rzadziej u dzieci (47).

Tabela 3

Przykłady badań epidemiologicznych na terenach zanieczyszczonych

Zanieczyszczenie	Region	Efekt	Źródło
Σ 24PCB (B: 55–34378 ng·g ⁻¹ tłuszczu) PCB 153 (B: 55–34378 ng·g ⁻¹ tłuszczu)	Brescia, Włochy	brak wpływu na hormony tarczycy (FT4 i TSH)	Donato i in. 2008 (18)
Σ PCB (G: 8 mg·kg ⁻¹)	Brescia, Włochy	pozytywny związek pomiędzy zawartością PCB a występowaniem chłoniaka nieziarniczego	Maifredi i in. 2011 (51)
Σ 30PCB (B: 4,5–10,03 ng·cm ⁻³)	Salerno, Włochy	pozytywna korelacja pomiędzy PCB a występowaniem wad wrodzonych	Marra i in. 2012 (53)
Metale, WWA, związki chlorowane	44 NPCS, Włochy	wzrost zachorowalności na nowotwory oraz śmiertelności z powodu raka płuc, chorób układu oddechowego, niewydolności nerek	Pirastu i in. 2013 (68) Comba i in. 2014 (14)
10 PFAS (B: 0,64–4,77 ng·cm ⁻³)	Tajwan	występowanie raka piersi u kobiet ≤ 50 roku życia	Tsai i in. 2020 (91)
Metale (Co, Cu, Sn)	Chiny	ADHD u dzieci w wieku 6–11 lat	Li i in. 2020 (47)
WWA, metale, PCB, ftalany, dioksyny	São Paulo, Brazylia	częstsze występowanie raka piersi w terenach o wyższych poziomach zanieczyszczeń	Montanha i in. 2020 (57)
Cd (U: 0,04–6,08 μg·dm ⁻³)	Chiny	pierwotna niewydolność jajników (wpływ na hormony FSH i LH)	Pan i in. 2021 (64)

Zanieczyszczenie	Region	Efekt	Źródło
Dioksyny (B: 28–157 pg·g ⁻¹)	Seveso, Włochy	występowanie nowotworów (piersi i tarczycy) u kobiet po 30 latach od awarii zakładów chemicznych w Seveso	Warner i in. 2011(94)

NPCS: krajowe priorytetowe miejsca zanieczyszczone; G: zawartość zanieczyszczenia w glebie; B: zawartość zanieczyszczenia w surowicy krwi; U: zawartość w moczu

Źródło: opracowanie własne na podstawie literatury

Na szczególną uwagę zasługują tzw. *emerging contaminants*. Mogą one powodować szereg potencjalnych skutków zdrowotnych, jak: choroby tarczycy (PFAS, PBDEs), zaburzenia płodności (PFAS, farmaceutyki, BPA), stany zapalne organizmu (plastiki i polimery syntetyczne, nanomateriały), nowotwory (PBDEs, nanomateriały) czy otyłość (PFAS) (tab. 1), jednak dla większości tych zanieczyszczeń mechanizmy ich szkodliwego oddziaływania nie są w pełni poznane. Wyniki badań toksykologicznych z udziałem zwierząt wskazują na potencjalną neurotoksyczność, hepatotoksyczność oraz immunotoksyczność substancji takich jak PFAS (49). Wysokie stężenia tych związków (do 12,8 mg·cm⁻³) odnotowywano w różnych organach i tkankach człowieka, m.in. we krwi, włosach, w wątrobie, moczu, mleku matki i paznokciach zarówno dorosłych, jak i dzieci (49). Uważa się, że PFAS mogą wywierać potencjalnie szkodliwy wpływ na procesy uczenia się, zachowanie dzieci (ADHD), płodność kobiet, poziom cholesterolu i układ odpornościowy, a także mogą zwiększać ryzyko zachorowania na raka (46, 49, 59). Doniesienia literaturowe w tym zakresie są jednak niejednoznaczne i nieliczne (46, 91), brakuje szerszych badań epidemiologicznych, jak również informacji o drogach narażenia, poziomach zawartości w organizmie człowieka oraz interakcji z innymi zanieczyszczeniami.

Skutki zdrowotne zanieczyszczenia mogą wiązać się również z wpływem na zdrowie psychiczne człowieka. W Holandii przeprowadzono badania obejmujące analizę kosztów i korzyści związanych z rekultywacją gleby (99). Zaobserwowano wzrost poziomu stresu u osób mieszkających na skażonym terenie (lub w jego pobliżu), co wiązało się ze świadomością ryzyka związanego z zanieczyszczeniem oraz strat ekonomicznych (spadek wartości terenu, utrata własności).

Czynniki wpływające na skutki zdrowotne

O zakresie skutków zdrowotnych związanych z zanieczyszczeniem gleb decyduje szereg czynników, takich jak: rodzaj, właściwości oraz zawartość zanieczyszczeń; poziom i czas trwania narażenia; rodzaj drogi narażenia; wiek osoby narażonej oraz czynniki podatności osobniczej, a także właściwości gleb determinujące biodostępność substancji chemicznych (9, 23, 44). Często jest więc trudno jednoznacznie określić zależności pomiędzy występowaniem schorzeń u ludzi a obecnością zanieczyszczeń

w glebie (18, 53, 91, 94). Człowiek narażony jest na działanie wielu związków chemicznych, o różnych właściwościach oraz różnych mechanizmach oddziaływania i toksyczności, pomiędzy którymi zachodzą interakcje (synergizm, antagonizm lub addytywność). Zanieczyszczenia często występują w bardzo małych stężeniach (np. dioksyny, PFAS, nanocząstki), mogą wykazywać duży potencjał do bioakumulacji lub biomagnifikacji, a ich skumulowane skutki są widoczne dopiero po długim okresie narażenia (23). Niektóre substancje chemiczne, które powodują poważne szkody zdrowotne w wysokich dawkach, mogą być nieszkodliwe lub nawet niezbędne w niskich dawkach. Selen i cynk są przykładami mikroelementów pochodzenia geochemicznego, które odgrywają kluczową rolę w mechanizmach antyoksydacyjnych i odporności (6, 54, 60).

Należy również pamiętać, że człowiek może być jednocześnie narażony na zanieczyszczenia występujące we wszystkich elementach środowiska (powietrzu, wodzie, żywności, pyłe i glebie), które mogą wnikać do organizmu człowieka różnymi drogami. Narażenie związane jest nie tylko z wdychaniem pyłu i oparów pochodzących z substancji zanieczyszczających glebę czy spożyciem skażonych cząstek gleby, ale również ze spożyciem skażonej żywności, wody oraz absorpcją zanieczyszczeń przez skórę (85, 103).

Wpływ zanieczyszczenia gleby na zdrowie zależy również od podatności ludzi w obrębie danej populacji czy też społeczności, co wynika z wydajności indywidualnych mechanizmów obronnych (np. zdolność do usuwania zanieczyszczeń przez wątrobę i nerki), cech genetycznych, stylu życia, nawyków żywieniowych i wieku. Uważa się, że najbardziej podatni na wpływ zanieczyszczeń są starsi ludzie, dzieci i kobiety w ciąży (44). Częściej negatywne skutki zdrowotne obserwowane są u osób prowadzących niehigieniczny tryb życia (picie alkoholu, palenie papierosów) oraz obciążonych występowaniem innych chorób (14, 23, 31, 70).

Zanieczyszczenia w środowisku glebowym mogą podlegać różnym procesom abiotycznym i/lub biotycznym, w tym degradacji, sorpcji/desorpcji, pobieraniu przez rośliny, wymywaniu do wód gruntowych (15, 76), o przebiegu których decydują właściwości glebowe. Wymywanie, transport i biodostępność zanieczyszczeń nieorganicznych w glebie zależą głównie od pH, pojemności wymiany kationów, zawartości materii organicznej oraz frakcji ilastej, potencjału redoks oraz zawartości tlenków żelaza i manganu (4, 58). Na biodostępność i przemiany związków organicznych mają wpływ zarówno właściwości gleby (zawartość i charakter glebowej materii organicznej, wielkość i struktura porów glebowych, zawartość minerałów ilastych) oraz jej aktywność biologiczna, jak i czynniki klimatyczne (wilgotność, temperatura) oraz sposób użytkowania (15, 86). Potencjalna absorpcja związków organicznych w łańcuchu pokarmowym zależy od ich lotności, rozpuszczalności w wodzie, trwałości w środowisku oraz współczynnika biokoncentracji (76).

Metody przeciwdziałania

Zmniejszenie ryzyka zdrowotnego oraz ekologicznego związanego z zanieczyszczeniem gleby można osiągnąć poprzez działania, które polegają na ograniczaniu wprowadzania zanieczyszczeń do gleby oraz izolowaniu zanieczyszczeń lub oczyszczaniu zanieczyszczonych miejsc (rys. 5). Ogólnie strategie zapobiegawcze obejmują ograniczenie emisji zanieczyszczeń, przejście na niepowodujące zanieczyszczenia odnawialne źródła energii oraz przyjęcie niezanieczyszczających technologii produkcji i transportu (23, 44). Natomiast w rolnictwie istotne jest ograniczenie stosowania oraz lepsza kontrola ilości aplikowanych nawozów i środków ochrony roślin, jak również kontrola jakości obornika oraz egzogennej materii organicznej wprowadzanej do gleby (76). W celu zapobiegania nadmiernej akumulacji zanieczyszczeń w roślinach oraz ich przenoszeniu w łańcuchu pokarmowym zaleca się wybór odmian charakteryzujących się zdolnością do unikania zanieczyszczeń, wprowadzanie upraw alternatywnych (np. roślin przemysłowych lub biomasy na cele energetyczne), a także alternatywnych sposobów użytkowania gruntów (np. zalesianie) (81). Niezbędnym narzędziem przeciwdziałania zanieczyszczeniu gleb są również regulacje prawne; zarówno zasada „zanieczyszczający płaci”, jak i zaprzestanie subsydiów i ulg podatkowych dla zanieczyszczających gałęzi przemysłu muszą być integralnymi elementami programów kontroli zanieczyszczeń (13, 22, 44).

Unijna polityka w zakresie środowiska opiera się na **zasadzie ostrożności** oraz na **zasadach działania zapobiegawczego, naprawiania szkody w pierwszym rzędzie u źródła** i na **zasadzie „zanieczyszczający płaci”**.



Rys. 5. Hierarchia działań na rzecz eliminacji zanieczyszczeń

Źródło: COM400(2021) (13)

Pierwszym krokiem w ocenie i zarządzaniu zanieczyszczonymi glebami jest identyfikacja zanieczyszczeń oraz ryzyka, jakie mogą stwarzać dla ludzi i środowiska

(11, 88). Analiza taka jest podstawą podjęcia decyzji o remediacji oraz wprowadzenia środków ograniczających ryzyko w celu ochrony zdrowia publicznego i środowiska. Środki te powinny być proste, szybkie do wdrożenia w sytuacji, gdy usuwanie zanieczyszczeń nie jest możliwe i mogą obejmować następujące działania: zatrzymanie dalszego uwalniania zanieczyszczeń do gleby; pokrycie zanieczyszczonego obszaru warstwą nieprzepuszczalną (np. geowłókniną lub płytami betonowymi), aby zapobiec uwalnianiu się oparów, spływom wody deszczowej i wypłukiwaniu zanieczyszczeń; informowanie społeczności lokalnych o zagrożeniach związanych z danym miejscem; umieszczenie oznakowania ostrzegawczego; zabezpieczenie terenu, na przykład za pomocą ogrodzenia, w celu ograniczenia dostępu dla osób postronnych i zwierząt gospodarskich; zmiana sposobu użytkowania i ograniczenie wykorzystania terenu jedynie do produkcji żywnościowej (22, 76).

Techniki remediacji obejmują szereg metod fizycznych, chemicznych i biologicznych, które mogą być prowadzone w warunkach *ex-situ* lub *in-situ* (tab. 4). W metodach *in-situ* proces remediacji prowadzony jest w miejscu występowania zanieczyszczenia, bez konieczności przemieszczania gruntu, natomiast w metodach *ex-situ* konieczna jest wymiana skażonego gruntu i dalsze zagospodarowanie powstałego odpadu poza terenem jego wytworzenia.

Tabela 4

Podział metod remediacji gleb

Metody	<i>In situ</i>	<i>Ex situ</i>
Fizyczne	ekstrakcja parowa/napowietrzanie, wspomagana termicznie ekstrakcja parowa z gleby, stosowanie barier, elektroremediacja	spalanie, desorpcja termiczna, ekstrakcja parowa z gleby, segregacja gleby
Chemiczne	przemywanie gleby, stabilizacja/immobilizacja chemiczna	odmywanie gleby, zestalanie/stabilizacja, dehalogenacja, ekstrakcja rozpuszczalnikowa, chemiczne i fitochemiczne utlenianie/redukcja
Biologiczne	bioremediacja, fitoremediacja	kompostowanie, bioreaktory/filtry mikrobiologiczne
Wady	dłuższy czas trwania procesu, trudniejsza kontrola i monitorowanie efektywności procesu remediacji	duże koszty usuwania gleby, duże koszty związane z transportem, istotny negatywny wpływ na siedliska, trudniejsze przywrócenie struktury gleby oraz bioróżnorodności
Zalety	uniknięcie kosztów usuwania gleby, szybsza odbudowa struktury gleby i bioróżnorodności	szybszy przebieg procesu remediacji, łatwiejsza kontrola i monitoring procesu

Źródło: opracowanie własne na podstawie Wolniewicz i in., 2018 (95), Siebielec i in., 2019 (81) oraz FAO i UNEP, 2021 (23)

Konwencjonalne techniki usuwania zanieczyszczeń bazujące na metodach fizycznych i chemicznych związane są z wysokimi kosztami prowadzenia procesu remediacji. Stosowanie tych metod prowadzi często do nieodwracalnych zmian właściwości gleby, wiąże się z silną ingerencją w życie biologiczne i przejściowym wzrostem zagrożenia ekologicznego na skutek wtórnego zanieczyszczenia (65, 76). W związku z tym jako opłacalne, wydajne i przyjazne dla środowiska techniki remediacji zalecane są metody biologiczne polegające na przyspieszeniu i optymalizacji naturalnych procesów rozkładu mikrobiologicznego zachodzących w środowisku (bioremediacja) lub na wykorzystaniu roślin (i związanych z nimi drobnoustrojów glebowych) w celu zmniejszenia narażenia na zanieczyszczenia poprzez ich stabilizację *in situ*, ekstrakcję lub degradację (fitoremediacja). Remediacja gleb może również polegać na samooczyszczaniu, które bazuje na procesach biologicznego rozkładu zanieczyszczeń lub ich chemicznej immobilizacji zachodzących naturalnie w glebach. Procesy te mogą być wspomagane przez wprowadzanie substancji biogenych lub szczepionek mikrobiologicznych (23, 81).

Podsumowanie

Problem związku zanieczyszczenia gleb ze zdrowiem człowieka jest kompleksowy. Skutki zdrowotne wynikają z długotrwałego, bezpośredniego oddziaływania mieszanin różnych substancji chemicznych, które często występują w niskich stężeniach, mają zdolność do bioakumulacji i przechodzenia do łańcucha pokarmowego człowieka oraz mogą powodować odległe efekty zdrowotne, np. zmiany w gospodarce hormonalnej, nowotwory, zaburzenia metaboliczne lub neurologiczne. Negatywny wpływ zanieczyszczenia gleb związany jest również z pogorszeniem szeregu usług ekosystemowych, takich jak: dostarczanie żywności, retencja wody, składników odżywczych i zanieczyszczeń, regulacja emisji gazów cieplarnianych czy zmiany w bioróżnorodności gleb, co prowadzi do pogorszenia jakości życia ludzi. Przeprowadzona analiza dostępnej literatury wykazała, iż w ocenie skutków zdrowotnych zanieczyszczenia gleb wykorzystuje się najczęściej dane toksykologiczne opracowane dla pojedynczych substancji i wymagające stosowania arbitralnych współczynników bezpieczeństwa, natomiast niewiele jest jednoznacznych danych epidemiologicznych dotyczących stanu zdrowia mieszkańców terenów zanieczyszczonych. W badaniach często uwzględniano jedną grupę substancji lub pojedyncze pierwiastki, rzadko też analizowano tzw. czynniki zakłócające (np. styl życia, nawyki żywieniowe, wiek, współwystępowanie innych chorób) determinujące występowanie skutków zdrowotnych u ludzi oraz nie uwzględniano interakcji pomiędzy chemicznymi i środowiskowymi czynnikami stresowymi. Wyzwaniem dla współczesnej nauki jest analiza wpływu na zdrowie człowieka zanieczyszczeń pochodzących ze źródeł rozproszonych, w tym zanieczyszczeń nowo pojawiających się (ang. *emerging contaminants*), takich jak: mikro- i nanoplastiki, związki perfluorowane, farmaceutyki, geny oporności na antybiotyki. Istnieje potrzeba dalszych działań na rzecz eliminacji zanieczyszczeń

oraz ograniczania ryzyka zdrowotnego i środowiskowego poprzez zapobieganie uwalnianiu zanieczyszczeń, promowanie nowoczesnych ekologicznych technologii produkcji, ograniczenie stosowania oraz lepszą kontrolę jakości nawozów i środków ochrony roślin w rolnictwie.

Literatura

1. Ayuso-Álvarez A., García-Pérez J., Triviño-Juárez J.M., Larrinaga-Torrontegui U., González-Sánchez M., Ramis R., Boldo E., López-Abente G., Galán I., Fernández-Navarro P.: Association between proximity to industrial chemical installations and cancer mortality in Spain. *Environmental Pollution*, 2020, **260**: 113869.
2. Am o a t e y P., Al-Mayahi A., Omidvarborna H., Baawain M.S., Sulaiman H.: Occupational exposure to pesticides and associated health effects among greenhouse farm workers. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, **27**: 22251-22270.
3. Bento C.P.M., Goossens D., Rezaei M., Riksen M., Mol H.G.J., Ritsema C.J., Geissen V.: Glyphosate ad AMPA distribution in wind-eroded sediment derived from loess soil. *Environmental Pollution*, 2017, **220**: 1079-1089.
4. Biswas B., Qi F., Biswas J.K., Wijayawardena A., Khan M.A.I., Naidu R.: The fate of chemical pollutants with soil properties and processes in the climate change paradigm – a review. *Soil Systems*, 2018, **2(51)**: 1-20, doi:10.3390/soilsystems2030051.
5. Brevik E.C., Pereg L., Steffan J.J., Burgess L.C.: Soil ecosystem services and human health. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2018, **5**: 87-92.
6. Brevik E.C., Slaughter L., Singh B.R., Steffan J.J., Collier D., Barnhart P., Pereira P.: Soil and human health: current status and future needs. *Air, Soil and Water Research*, 2020, **13**: 1-23.
7. Brevik E.C., Steffan J.J., Rodrigo-Comino J., Neubert D., Burgess L.C., Cerdà A.: Connecting the public with soil to improve human health. *European Journal of Soil Science*, 2019, **70**: 898-910, doi: 10.1111/ejss.12764.
8. Booth A., Aga D.S., Wester A.L.: Retrospective analysis of the global antibiotic residues that exceed the predicted no effect concentration for antimicrobial resistance in various environmental matrices. *Environment International*, 2020, **141**: 105796.
9. Bornman M., Delpont R., Farias P., Aneck-Hahn N., Patrick S., Millar R.P., de Jager C.: Alterations in male reproductive hormones in relation to environmental DDT exposure. *Environment International*, 2018, **113**: 281-289.
10. Briggs D.: Environmental pollution and the global burden of disease. *British Medical Bulletin*, 2003, **68**: 1-24, doi: 10.1093/bmb/ldg019.
11. Cachada A., Ferreira da Silva E., Duarte A.C., Pereira R.: Risk assessment of urban soils contamination: the particular case of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Science of the Total Environment*, 2016, **551-552**: 271-284.
12. Cira M., Echeverria-Palencia C.M., Callejas I., Jimenez K., Herrera Jr R., Hung W.C., Colima N., Schmidt A., Jay J.A.: Commercially available garden products as important sources of antibiotic resistance genes – a survey. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, **28**: 43507-43514.
13. COM400(2021): Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Droga do zdrowej planety dla wszystkich. Plan działania UE na rzecz eliminacji zanieczyszczeń wody, powietrza i gleby. Komisja Europejska, 2021, Bruksela (12.5.2021).
14. Comba P., Ricci P., Iavarone I., Pirastu R., Buzzoni C., Fusco M., Ferretti S., Fazzo L., Pasetto R., Zona A., Crocetti E.; ISS-AIRTUM Working Group for the study of cancer incidence in contaminated sites.: Cancer incidence in Italian contaminated sites. *Ann Ist Super Sanita.*, 2014, **50(2)**: 186-191, doi: 10.4415/ANN_14_02_13.
15. Cycoń M., Mroziak A., Piotrowska-Seget Z.: Antibiotics in the soil environment – degradation and their impact on microbial activity and diversity. *Frontiers in Microbiology*, 2019, **10**: 338, doi: 10.3389/fmicb.2019.00338.

16. Di Nisio A., Foresta C.: Water and soil pollution as determinant of water and food quality/contamination and its impact on male fertility. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 2019, **17(4)**: 1-13, <https://doi.org/10.1186/s12958-018-0449-4>.
17. De-la-Torre G.E.: Microplastics: an emerging threat to food security and human health. *J Food Sci Technol*, 2020, **57(5)**: 1601-1608.
18. Donato F., Zani C., Magoni M., Gelatti U., Covolo L., Orizio G., Speziani F., Indelicato A., Scarcella C., Bergonzi R., Apostoli P.: Polychlorinated biphenyls and thyroid hormone serum concentrations among people living in a highly polluted area: A cross-sectional population based study. *Environmental Research*, 2008, **108**: 380-386.
19. Dzierleng A.M.W., Allen B.C., Clewell III H.J., Longnecker M.P.: Pharmacokinetic bias analysis of an association between clinical thyroid disease and two perfluoroalkyl substances. *Environment International*, 2020, **141**: 105784.
20. Egorova D.O., Buzmakov S.S.: Carcinogenic and teratogenic status of human population and polychlorinated biphenyls contaminations of soils and biota (European pied flycatcher) in a Perm (Western Ural, Russia). *Environmental Geochemistry and Health*, 2020, **42**: 4299-4311.
21. FAO, ITPS: Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy, 2015, pp. 648.
22. FAO: Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017, Rome, Italy.
23. FAO, UNEP.: Global assessment of soil pollution – Summary for policy makers. Rome, FAO, 2021.
24. Fernández-Navarro P., García-Pérez J., Ramis R., Boldo E., López-Abente G.: Industrial pollution and cancer in Spain: An important public health issue. *Environmental Research*, 2017, **159**: 555-563.
25. Filippini T., Torres D., Lopes C., Carvalho C., Moreira P., Naska A., Kasdagli M.I., Malavolti M., Orsini N., Vincenti M.: Cadmium exposure and risk of breast cancer: A dose-response meta-analysis of cohort studies. *Environment International*, 2020, **142**: 105879.
26. Gao H., Zhang C., Tao F.B.: Association between prenatal phthalate exposure and gestational metabolic syndrome parameters: a systematic review of epidemiological studies. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, **28**: 20921-20938.
27. Gavrilescu M., Demnerová K., Aamand J., Agathos S., Fava F.: Emerging pollutants in the environment: present and future challenges in biomonitoring, ecological risks and bioremediation. *New Biotechnology*, 2015, **32(1)**: 147-156.
28. Geissen V., Mol H., Klimpp E., Umlauf G., Nadal M., van der Ploeg M., van de Zee S.E.A.T.M., Ritsema C.J.: Emerging pollutants in the environment: a challenge for water resource management. *International Soil and Water Conservation Research*, 2015, **3**: 57-65.
29. Grenni P., Ancona V., Caracciola A.B.: Ecological effects of antibiotics on natural ecosystems: A review. *Microchemical Journal*, 2018, **136**: 25-39.
30. Grešner P., Zieliński M., Ligocka D., Polańska K., Wąsowicz W., Gromadzińska J.: Environmental exposure to persistent organic pollutants measured in breast milk of lactating women from an urban area in central Poland. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, **28**: 4549-4557.
31. Grineski S.E., Staniswalis J.G., Bulathsinhala P., Peng Y., Gill T.E.: Hospital admissions for asthma and acute bronchitis in El Paso, Texas: Do age, sex, and insurance status modify the effects of dust and low wind events? *Environmental Research*, 2011, **111**: 1148-1155.
32. Guo J.J., Huang X.P., Xiang L., Wang Y.Z., Li Y.W., Li H., Cai Q.Y., Mo C.H., Wong M.H.: Source, migration and toxicology of microplastics in soil. *Environment International*, 2020, **137**: 105263.
33. He D., Luo Y., Lu S., Liu M., Song Y., Lei L.: Microplastics in soils: analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *Trends in Analytical Chemistry*, 2018, **109**: 163-172.
34. He A., Li X., Ai Y., Li X., Li X., Zhang Y., Gao Y., Liu B., Zhang X., Zhang M., Peng L., Zhou M., Yu H.: Potentially toxic metals and the risk to children's health in a coal mining city: an investigation of soil and dust levels, bioaccessibility and blood lead levels. *Environment International*, 2020, **141**: 15788.

35. Hoek G., Ranzi A., Alimehmeti I., Ardeleau E.R., Arrebola J.P., Avila P., et al.: A review of exposure assessment methods for epidemiological studies of health effects related to industrially contaminated site. *Epidemiologia & Prevenzione*, 2018, Suppl 1, **42(5-6)**: 21-36.
36. IARC: Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–125 – IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans [online]. 2021, <https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-the-iarc/> (październik 2021).
37. Jeffries J., Martin I.: Updated technical background to the CLEA model. Science Report: SC050021/SR3. Environment Agency, Rio House, Waterside Drive, Aztec West, Almondsbury, Bristol, UK, 2009, pp. 166.
38. Kaur I., Behl T., Aleya L., Rahman Md.H., Kumar A., Arora S., Akter R.: Role of metallic pollutants in neurodegeneration: effects of aluminium, lead, mercury, and arsenic in mediating brain impairment events and autism spectrum disorder. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, **28**: 8989-9001.
39. Khmelevtsova L.E., Sazykin I.S., Azhogina T.N., Sazykina M.A.: The dissemination of antibiotic resistance in various environmental objects (Russia). *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, **27**: 43569-43581.
40. Klimkowicz-Pawlas A., Siebielec G., Suszek-Łopatka B., Maring L.: The impact of soil degradation on human health. Deliverable under the contract for DG-ENV “Providing support in relation to the implementation of the EU Soil Thematic Strategy” (Service contract No. 07.0201/2016/742739/SER/ENV.D.I), 2019, pp. 85.
41. Koppittke P.M., Menzies N.W., Wang P., McKenna B.A., Lombi E.: Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 2019, **132**: 105078.
42. Kotwani A., Joshi J., Kaloni D.: Pharmaceutical effluent: a critical link in the interconnected ecosystem promoting antimicrobial resistance. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, **28**: 32111-32124.
43. Kuppasamy S., Kakarla D., Venkatesvarlu K., Megharaj M., Yoon Y.E., Lee Y.B.: Veterinary antibiotics (Vas) contamination as a global agro-ecological issue: a critical review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2018, **257**: 47-59.
44. Landrigan P.J., Fuller R., Acosta N.J.R., Adeyi O., Arnold R., Basu N., Baldé A.B., Bertollini R., Bose-O'Reilly S., Boufford J.I., Breysse P.N., Chiles T., Mahidol C., Coll-Seck A.M., Cropper M.L., Fobil J., Fuster V., Greenstone M., Haines A., Hanrahan D., Hunter D., Khare M., Krupnick A., Lanphear B., Lohani B., Martin K., Mathiasen K.V., McTeer M.A., Murray C.J.L., Ndahimananjara J.D., Perera F., Potočnik J., Preker A.S., Ramesh J., Rockström J., Salinas C., Samson L.D., Sandilya K., Sly P.D., Smith K.R., Steiner A., Stewart R.B., Suk W.A., van Schayck O.C.P., Yadama G.N., Yumkella K., Zhong M.: The Lancet Commission on pollution and health. *Lancet*, 2018, **391**: 462-512.
45. Lehmann A., Leifheit E.F., Gerdawischke M., Rilling M.C.: Microplastics have shape- and polymer-dependent effects on soil aggregation and organic matter loss – an experimental and meta-analytical approach. *Microplastics and Nanoplastics*, 2021, **1**: 7, <https://doi.org/10.1186/s43591-021-00007-x>
46. Lei M., Zhang L., Lei J., Zong L., Li J., et al.: Overview of emerging contaminants and associated human health effects. *BioMed Research International*, 2015, Article ID 404796, pp. 12, doi: 10.1155/2015/404796.
47. Li Y., Cha C., Lv X., Liu J., He J., Pang Q., Meng L., Kuang H., Fan R.: Association between 10 urinary heavy metal exposure and attention deficit hyperactivity disorder for children. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, **27**: 31233-31242.
48. Lin Z., Yuan T., Zhou L., Cheng S., Qu X., Lu P., Feng Q.: Impact factors of the accumulation, migration and spread of antibiotic resistance in the environment. *Environmental Geochemistry and Health*, 2021, **43**: 1741-1758.
49. Liu W., Wu J., He W., Xu F.: A review of perfluoroalkyl acids studies: Environmental behaviors, toxic effects, and ecological and health risks. *Ecosystem Health and Sustainability*, 2019, vol. 5, **1**: 1-19, doi: 10.1080/20964129.2018.1558031.

50. Ma J., Li Y., Liu Y., Wang X., Lin C., Cheng H.: Metal(loid) bioaccessibility and children's health risk assessment of soil and indoor dust from rural and urban school and residential areas. *Environmental Geochemistry and Health*, 2020, **42**: 1291-1303.
51. Maifredi G., Donato F., Magoni M., Orizio G., Gelatti U., Maiolino P., Zani C., Vassallo F., Scarcella C.: Polychlorinated biphenyls and non-Hodgkin's lymphoma: A case-control study in Northern Italy. *Environmental Research*, 2011, **111**: 254-259.
52. Markowicz A., Bondarczuk K., Cycoń M., Sułowicz S.: Land application of sewage sludge: response of soil microbial communities and potential spread of antibiotic resistance. *Environmental Pollution*, 2021, **271**: 116317.
53. Marra M.L., Zullo F., De Felice B., Nappi L., Guida M., Trifuoggi M., Nappi C., Di Spiezio Sardo A., Zizolfi B., Capece G., Visconti F., Troisi J., Ciccone C., Guida M.: Environmental pollution effects on reproductive health – Clinical-Epidemiological Study In Southern Italy. *Translational Medicine*, 2012, **4-5**: 39-56.
54. Middleton D.R.S., McComack V.A., Watts M.J., Schüz J.: Environmental geochemistry and cancer: a pertinent global health problem requiring interdisciplinary collaboration. *Environmental Geochemistry and Health*, 2019, doi: 10.1007/s10653-019-00303-9.
55. Millennium Ecosystem Assessment (MEA): Ecosystem and human well-being: synthesis, Island Press, Washington, DC, 2005.
56. Mir R.H., Sawhney G., Pottoo F.H., Mohi-u-d-din R., Madisheti S., Jachak S.M., Ahmed Z., Masoodi M.H.: Role of environmental pollutants in Alzheimer's disease: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, **27**: 44724-44742.
57. Montanha D., Martins L.C., Braga A.L.F.: Breast cancer in the Baixada Santista region and its relationship to contaminated areas. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, **27**: 23181-23187.
58. Muhlbachova G., Sagova-Mareckova M., Omelka M., Szakova J., Tlust P.: The influence of soil organic carbon on interactions between microbial parameters and metal concentrations at long-term contaminated site. *Science of the Total Environment*, 2015, **502**: 218-223.
59. Naidu R., Nadebaum P., Fang C., Cousins I., Pennell K., Conder J., Newell C.J., Longpré D., Warner S., Crosbie N.D., Surapaneni A., Bekele D., Spiese R., Bradshaw T., Slee D., Liu Y., Qi F., Mallavarapu M., Duan L., McLeod L., Bowman M., Richmond B., Srivastava P., Chadalavada S., Umeh A., Biswas B., Barclay A., Simon J., Nathanail P.: Per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS): current status and research needs. *Environmental Technology & Innovation*, 2020, **19**: 100915.
60. Naidu R., Biswas B., Willett I.R., Cribb J., Singh B.K., Nathanail C.P., Coulon F., Semple K.T., Jones K.C., Barclay A., Aitken R.J.: Chemical pollution: a growing peril and potential catastrophic risk to humanity. *Environment International*, 2021, **156**: 106616.
61. OECD: OECD/UNEP Global PFC Group, Synthesis paper on per- and polyfluorinated chemicals (PFCs), Environment, Health and Safety, Environment Directorate, OECD, 2013, pp. 60.
62. 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.
63. Paganò G., Guida M., Tommasi F., Oral R.: Health effects and toxicity mechanisms of rare earth elements – knowledge gaps and research prospects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2015, **115**: 40-48.
64. Pan W., Ye X., Zhu Z., Li C., Zhou J., Liu J.: Urinary cadmium concentrations and risk of primary ovarian insufficiency in women: a case-control study. *Environmental Geochemistry and Health*, 2021, **43**: 2025-2035.
65. Pérez A., Rodríguez-Eugenio N.: Status of local soil contamination in Europe. *JRC Technical Report*, 2018.
66. Pereira A.R., de Oliveira Paranhos A.G., de Aquino S.F., de Queiroz Silva S.: Distribution of genetic elements associated with antibiotic resistance in treated and untreated animal husbandry waste and wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, **28**: 26380-26403.

67. Pérez R., Suelves T., Molina Y., Corpas-Burgos F., Yusà V.: Biomonitoring of mercury in hair of children living in the Valencian Region (Spain). Exposure and risk assessment. *Chemosphere*, 2019, **217**: 558-566.
68. Pirastu R., Pasetto R., Zona A., Ancona C., Iavarone I., Martuzzi M., Comba P.: The health profile of populations living in contaminated sites: Sentieri approach. *Journal of Environmental and Public Health*, Hindawi Publishing Corporation, 2013, Article ID 939267: 13.
69. Ponciano-Rodríguez G., Gaso M.I., Armienta M.A., Trueta C., Morales I., Alfaro R., Segovia N.: Indoor radon exposure and excess of lung cancer mortality: the case of Mexico—an ecological study. *Environmental Geochemistry and Health*, 2021, **43**: 221-234.
70. Praveena S.M., Minisvaradass R., Masiran R., Rajendran R.K., Lin C.C., Kumar S.: Phthalates exposure and attention-deficit/hyperactivity disorder in children: a systematic review of epidemiological literature. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, **27**: 44757-44770.
71. Qu C., Albanese S., Li J., Cicchella D., Zuzolo D., Hope D., Cerino P., Pizzolante A., Doherty A.L., Lima A., De Vivi B.: Organochlorine pesticides in the soils from Benevento provincial territory, southern Italy: Spatial distribution, air-soil exchange, and implications for environmental health. *Science of the Total Environment*, 2019, **674**: 159-170.
72. Rahman M.A., Rahman M.S., Uddin M.J., Mamun-O r-Rashid A.N.M., Pang M.G., Rhim H.: Emerging risk of environmental factors: insight mechanisms of Alzheimer's diseases. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, **27**: 44659-44672.
73. Ramasamy B.S.S., Palanisamy S.A.: Review on occurrence, characteristics, toxicology and treatment of nanoplastic waste in the environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, **28**: 43258-43273.
74. Rillig M.C., Leifheit E., Lehmann J.: Microplastic effects on carbon cycling processes in soils. *PLoS Biology*, 2021, **19**(3): e3001130, <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001130>
75. Rodgers K., Udesky J.O., Rudel R.A., Brody J.G.: Environmental chemicals and breast cancer: An updated review of epidemiological literature informed by biological mechanisms, *Environmental Research*, 2018, **160**: 152-182.
76. Rodríguez-Eugenio N., McLaughlin M., Pennock D.: *Soil Pollution: a hidden reality*. Rome, FAO. 2018, pp. 142.
77. Roslund M.I., Rantala S., Oikarinen S., Puhakka R., Hui N., Parajuli A., Laitinen O.H., Hyöty H., Rantalainen A.L., Sinkkonen A.: ADELE team: Endocrine disruption and commensal bacteria alteration associated with gaseous and soil PAH contamination among daycare children. *Environment International*, 2019, **130**: 104894, doi: 10.1016/j.envint.2019.06.004
78. Sandifer P.A., Sutton-Grier A.E., Ward B.P.: Exploring connections among nature, biodiversity, ecosystem services, and human health and well-being: Opportunities to enhance health and biodiversity conservation. *Ecosystem Services*, 2015, **12**: 1-15.
79. Sharma S., Wakode S., Sharma A., Nair N., Dhobi M., Wani M.A., Pottoo F.H.: Effect of environmental toxicants on neuronal functions. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, **27**: 44906-44921.
80. Sheikh I.A., Beg M.A.: Structural studies on the endocrine-disrupting role of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in thyroid diseases. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, **27**: 37866-37876.
81. Siebielec G., Hageman N., Klimkowicz-Pawlas A.: *Soils4EU Policy Brief 1 "Sustainable Soil Management"*. Deliverable under the contract for DG-ENV "Providing support in relation to the implementation of the EU Soil Thematic Strategy", 2019, pp.25.
82. Sing D., Sing C.F.: Impact of direct soil exposure from airborne dust and geophagy on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2010, **7**: 1205-1223.
83. Stafoggia M., Zauli-Sajani S., Pey J., Samoli E., Alessandrini E., Basagaña X., Cernigliaro A., Chiusolo M., Demaria M., Díaz J., Faustini A., Katsouyanni K., Kelessis A.G., Linares C., Marchesi S., Medina S., Pandolfi P., Pérez N., Querol X., Randi G., Ranzi A., Tobias A., Forastiere F., and the MED-PARTICLES Study Group: Desert dust outbreaks in Southern Europe: Contribution to daily PM10 concentrations and short-term associations with mortality and hospital admissions. *Environmental Health Perspective*, 2016, **124**(4): 413-419.

84. Steenland K., Fletcher T., Savitz D.A.: Epidemiologic evidence on the health effects of perfluorooctanoic acid (PFOA). *Environmental Health Perspectives*, 2010, **118**(8): 1100-1108.
85. Steffan J.J., Brevik E.C., Burgess L.C., Cerdà A.: The effect of soil on human health: an overview. *European Journal of Soil Science*, 2018, **69**: 159-171.
86. Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Korczyńska B.: Biodostępność trwałych zanieczyszczeń organicznych (TZO) w glebach. W: *Zagrożenia dla prawidłowego funkcjonowania gleb użytkowanych rolniczo – wybrane zagadnienia*. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy 2013, **35**(9): 137-154.
87. Sun K., Song Y., Zong W., Tang J., Liu R.: Anthracene-induced DNA damage and oxidative stress: a combined study at molecular and cellular levels. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, **27**: 41458-41474.
88. Swartjes F.A.: Introduction to contaminated site management. In: *Dealing with contaminated sites. From theory towards practical application*, Swartjes F.A. (ed.). Dordrecht: Springer publishers, 2011, 3-87.
89. Swartjes F.A.: Human health risk assessment related to contaminated land: state of the art. *Environmental Geochemistry and Health*, 2015, **37**: 651-673.
90. Swartjes F.A., Cornelis C.: Human Health Risk Assessment. In: *Dealing with contaminated sites. From theory towards practical application*, Swartjes F.A. (ed.). Dordrecht: Springer publishers, 2011, 209-259.
91. Tsai M.S., Chang S.H., Kuo W.H., Kuo C.H., Li S.Y., Wang M.Y., Chang D.Y., Lu Y.S., Huang C.S., Cheng A.L., Lin C.H., Chen P.C.: A case-control study of perfluoroalkyl substances and the risk of breast cancer in Taiwanese women. *Environment International*, 2020, **142**: 105850.
92. UNEP: Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs), 2020, <http://www.pops.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/2232/Default.aspx>
93. Wag g C., Bender S.F., Widmer F., van der Heijden M.G.A.: Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *PNAS*, 2014, **111**(14): 5266-5270, doi:10.1073/pnas.1320054111.
94. Warner M., Mocarelli P., Samuels S., Needham L., Brambilla P., Eskenazi B.: Dioxin exposure and cancer risk in the Seveso women's health study. *Environmental Health Perspectives*, 2011, **119**(12): 1700-1705.
95. Wolni ewi cz A., Czechowski J., Kaliszewski T., Marecik R.: Przegląd metod remediacji i praktyczne zastosowanie bioremediacji w likwidacji zanieczyszczeń węglowodorami. *Inżynieria Ekologiczna*, 2018, **19**(5): 47-52.
96. World Health Organization (WHO): Preamble to the Constitution of WHO as adopted by the International Health Conference, New York, 19 June–22 July 1946; signed on 22 July 1946 by the representatives of 61 States (Official Records of WHO, no. 2, p. 100) and entered into force on 7 April 1948, 1946.
97. World Health Organization (WHO): Science Communication Unit, University of the West of England, 2013. *Science for Environment Policy*. In-depth Report: Soil Contamination: Impacts on Human Health. Report produced for the European Commission DG Environment, September 2013. Available at: <http://ec.europa.eu/science-environment-policy>.
98. Wright S.L., Kelly F.J.: Plastic and human health: a micro issue? *Environmental Science & Technology*, 2017, **51**(12): 6634-6647.
99. van Wezel A.P., Franken R.O.G., Drissen E., Versluijs K.C.W., van den Berg R.: Societal cost-benefits analysis for soil remediation in the Netherlands. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 2008, **4**(1): 61-74.
100. Xu B., Liu F., Cryder Z., Huang D., Lu Z., He Y., Wang H., Lu Z., Brookes P.C., Tang C., Gan J., Xu J.: Microplastics in the soil environment: occurrence, risks, interactions and fate – a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2020, **50**(21): 2175-2222.
101. Zhang B., Yang X., Chen L., Chao J., Teng J., Wang Q.: Microplastics in soils: a review of possible sources, analytical methods and ecological impacts. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 2020, **95**: 2052-2068.

102. Zhang X., Zhao L., Tong D.Q., Wu G., Dan M., Teng B.: A systematic review of global desert dust and associated human health effects. *Atmosphere*, 2016, 7, **158**: 1-30.
103. Zornosa R., Acosta A.J., Bastida F., Dominguez S.D., Toledo D.M., Faz A.: Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. *SOIL*, 2015, **1**: 173-185, doi:10.5194/soil-1-173-2015.
104. <https://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/en/c/284478/>
-

Adres do korespondencji:

dr inż. Agnieszka Klimkowicz-Pawlas
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 47 86 917
e-mail: agnes@iung.pulawy.pl

AUTOR

Agnieszka Klimkowicz-Pawlas

ORCID

0000-0002-4529-5274

Jan Jadczyzyn, Beata Bartosiewicz

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

PRAKTYKI ZWIĘKSZAJĄCE RETENCJĘ GLEBOWĄ I WYKORZYSTANIE WODY W POŁEWEJ PRODUKCJI ROŚLINNEJ*

Słowa kluczowe: gospodarka wodna, retencja wodna, stres wodny, ewaporacja, ewapotranspiracja, systemy uprawy, zabiegi uprawowe, struktura gleby, próchnica

Wstęp

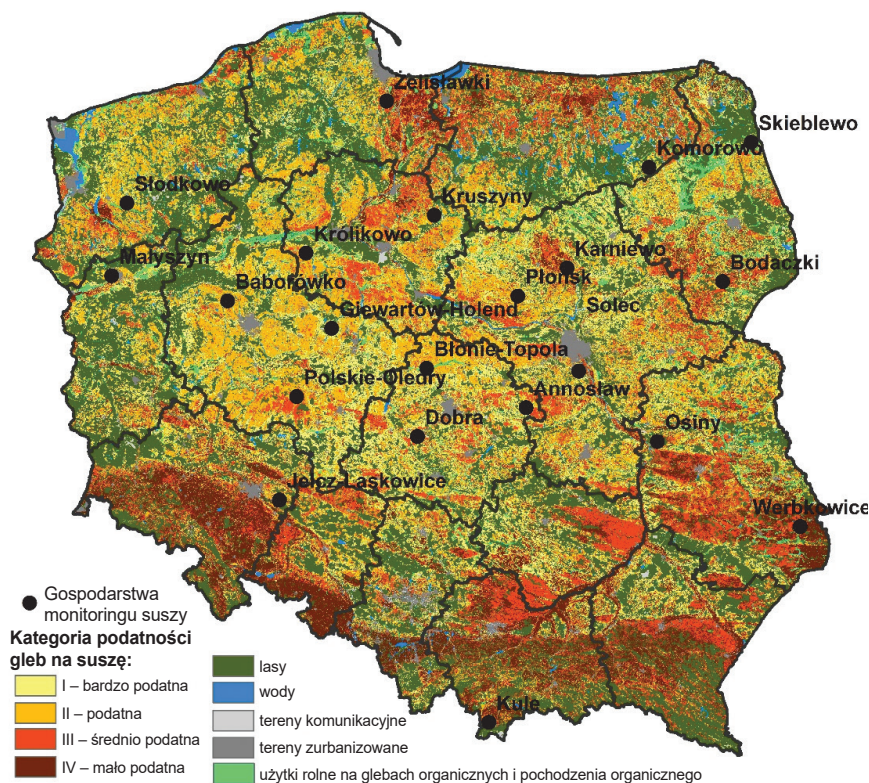
Woda jest niezbędna zarówno do życia człowiekowi i całemu światu ożywionemu, jak również dla rozwoju gospodarki. Zasoby wody słodkiej potrzebnej do życia wszystkich organizmów są ograniczone i stanowią jedynie 2,5% objętości, tj. około 10 mln km³ wszystkich wód na kuli ziemskiej (24). Woda w przyrodzie znajduje się w ciągłym obiegu, zwanym cyklem hydrologicznym. Dopływ energii słonecznej powoduje jej parowanie z powierzchni mórz, oceanów, jezior, rzek, mokradeł, gleby oraz roślin, a następnie skraplanie i opadanie w postaci opadów atmosferycznych (deszczu, śniegu i gradu) (23). Zmiany klimatyczne, w szczególności obserwowany w ostatnich latach wzrost usłonecznienia w połączeniu ze wzrostem temperatury wpływa na intensyfikację procesu ewapotranspiracji, czyli parowania wody z powierzchni ziemi i roślin (8, 18, 19, 20), co w konsekwencji skraca cykl hydrologiczny i prowadzi do okresowego ograniczenia wody niezbędnej w sezonie wegetacyjnym dla wzrostu i rozwoju roślin.

Przestrenny charakter rolnictwa oraz fakt, że bazuje ono głównie na wodach opadowych sprawia, że jest działem gospodarki najbardziej narażonym na niekorzystne zmiany klimatyczne (21, 28). Zarówno krótko, jak i długookresowe projekcje klimatyczne przewidują dalszy wzrost, w stosunku do normy klimatycznej, średniej temperatury powietrza, wydłużenie fali upałów, zwiększenie intensywności opadów oraz częstotliwości występowania suszy rolniczej (22). Zachodzące zmiany klimatyczne wymuszają zatem dostosowanie życia społeczno-gospodarczego do nowych uwarunkowań przyrodniczych. Olbrzymie zadanie spoczywa na rolnictwie, które musi

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.0 pt. „Ochrona gleb użytkowanych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

dostosować produkcję do nowych, zmieniających się warunków agroklimatycznych. Jednym z najważniejszych celów tego zadania jest stosowanie racjonalnej gospodarki wodnej i podjęcie wszelkich działań prowadzących do zwiększenia retencji wody w glebie.

Potencjalne możliwości retencji wody w glebie zależą głównie od składu granulometrycznego gleby, a w szczególności od zawartości frakcji ilastej ($<0,002$ mm) i pylastej (0,02–0,002 mm), łącznie określonych frakcją sypkawkową ($<0,02$ mm), oraz od zawartości materii organicznej. Wraz ze wzrostem zawartości frakcji sypkawkowej i zawartości próchnicy wzrasta możliwość zatrzymywania wody w profilu glebowym. W Polsce zdecydowana większość gleb mineralnych (ponad 60%) wytworzona została z utworów piaszczystych, w których zawartość frakcji sypkawkowej nie przekracza 20%, a średnia zawartość próchnicy jest mniejsza od 2%. Z tego względu naturalna retencja wody w glebie jest ograniczona. Małe możliwości zatrzymywania wody w profilu glebowym decydują również o zwiększonej podatności gleb wytworzonych z utworów piaszczystych w kraju na suszę rolniczą. Ponad połowa (57,0%) gleb mineralnych użytków rolnych w Polsce została zakwalifikowana do kategorii bardzo podatnej (I) i podatnej (II) na suszę rolniczą, zaś tylko niespełna 20% do kategorii mało podatnej (IV) (rys. 1).



Rys. 1. Mapa kategorii podatności gleb na suszę rolniczą

Czynniki kształtujące retencję wodną gleb gruntów ornych

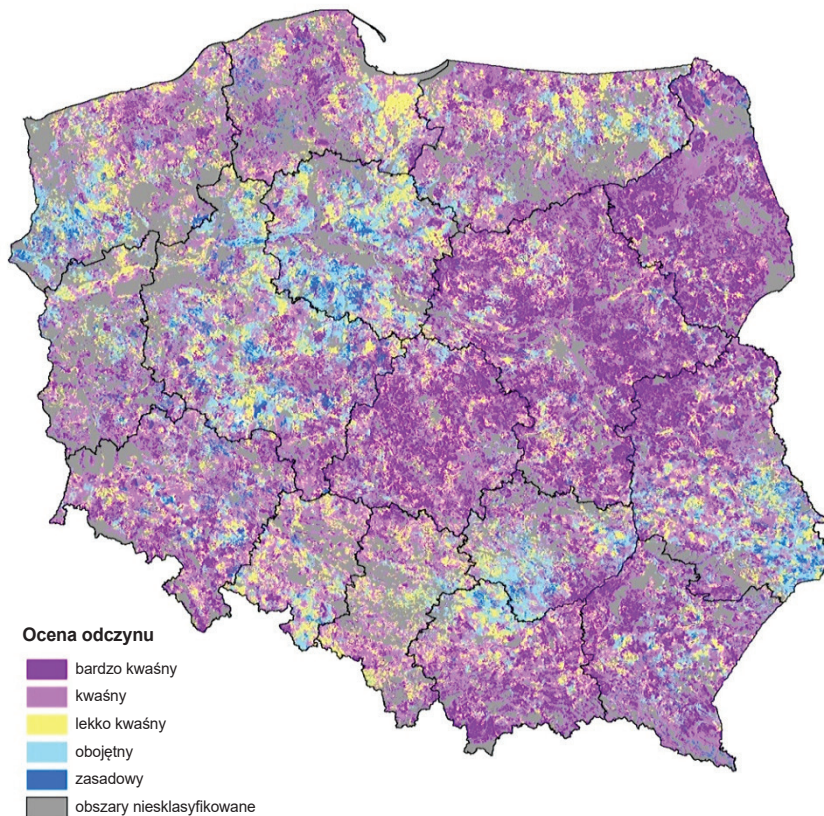
Naturalne właściwości fizykochemiczne gleby, z wyjątkiem uziarnienia, mogą ulegać okresowym zmianom i oddziaływać na retencję wodną gleb pod wpływem zmieniających się czynników klimatycznych oraz działalności gospodarczej człowieka. Czynnikiem bardzo korzystnie wpływającym na możliwości zatrzymywania wody w glebie jest próchnica, czyli bezpostaciowe, organiczne szczątki w różnym stadium mikrobiologicznego i fizykochemicznego rozkładu, akumulowane w glebie w postaci specyficznych glebowych związków organicznych (humusu). Zawartość i jakość próchnicy określają potencjał produkcyjny gleby oraz pozytywnie wpływają na gospodarkę wodną (1, 15, 17, 26). Korzystne oddziaływanie próchnicy na retencję glebową uwidacznia się w dwojaki sposób (23):

- 1) bezpośredni – wiąże wodę w ilości 5 razy większej w stosunku do swojej masy;
- 2) pośredni – pobudza życie biologiczne i sprzyja powstawaniu trwałej struktury gruzełkowej, co ułatwia infiltrację wód opadowych, ogranicza spływ powierzchniowy, poprawia stosunki powietrzno-wodne i zwiększa możliwości retencyjne gleby.

Retencję wodną ogranicza kwaśny odczyn gleby, który hamuje powstawanie trwałych związków mineralno-próchnicznych i tworzenie struktury agregatowej. Gleby o odczynie kwaśnym pod wpływem intensywnych opadów łatwo ulegają zasklepianiu, przez co ograniczona zostaje infiltracja wody w głąb profilu, zwiększa się spływ powierzchniowy i nasila erozja wodna. Ponadto bardzo kwaśny odczyn ogranicza pobieranie składników mineralnych przez rośliny, co hamuje ich wzrost i rozwój, opóźnia przykrycie gleby przez rośliny, a w konsekwencji przyczynia się do wzrostu parowania z powierzchni gleby (5, 25). Z badań chemizmu gleb Polski wynika, że 26,2% gleb użytków rolnych wykazuje bardzo kwaśny odczyn ($\text{pH}_{\text{KCl}} < 4,5$), a kolejne 30,3% – odczyn kwaśny ($\text{pH}_{\text{KCl}} 4,5-5,5$) (29, 30). Dane te uwidaczniają realny wpływ tego czynnika na rzeczywistą retencję wody glebowej w skali kraju (rys. 2).

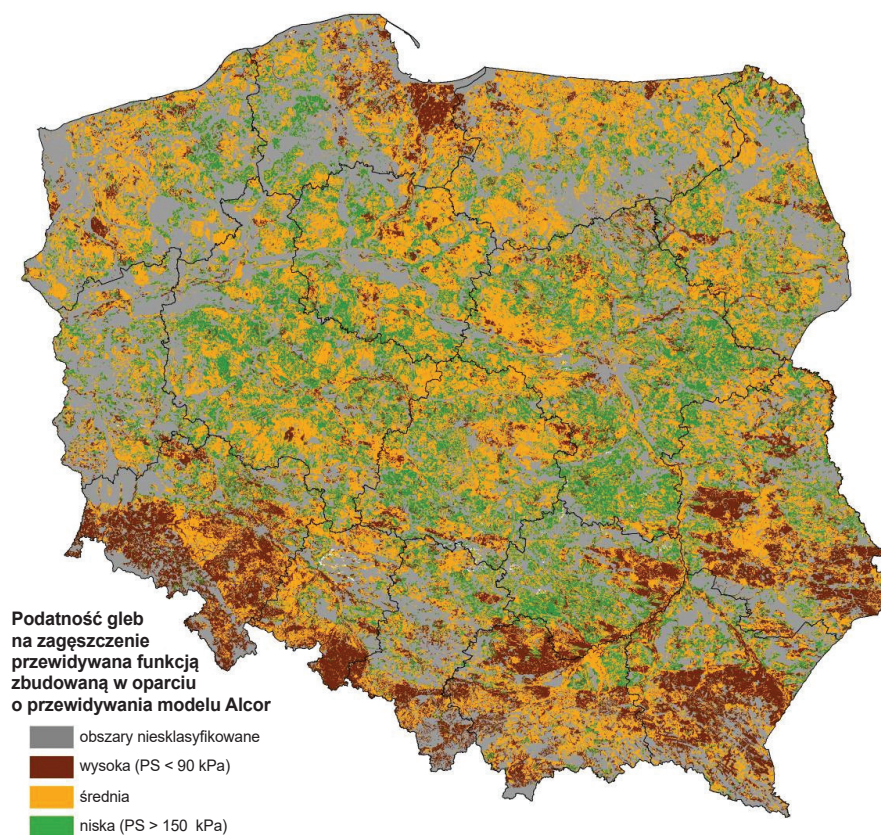
Kolejne ograniczenie retencji wodnej wiąże się z okresowym zagęszczeniem wierzchniej warstwy gleby na skutek uprawy mechanicznej oraz zbioru i transportu ziemiopłodów w warunkach zwiększonego uwilgotnienia. W wyniku nacisku kół zniszczeniu ulega struktura gleby. Zmniejszona zostaje także porowatość, co ogranicza proces wsiąkania wody do głębszych warstw profilu, zaś nasileniu ulega zjawisko spływu powierzchniowego i erozji. Zniszczona struktura wierzchniej warstwy gleby tylko okresowo ogranicza retencję, natomiast zagęszczenie podglebia zalegającego bezpośrednio pod warstwą uprawną, czyli tzw. podeszwa płużna, stale ogranicza infiltrację. Degradacja struktury gleby na tym poziomie pociąga za sobą dalsze negatywne konsekwencje dla roślin i środowiska. Ogranicza retencję wody w profilu poniżej poziomu zagęszczenia, co z kolei prowadzi do okresowej stagnacji wody, podtapiania i wymakania roślin, a także do zwiększenia spływu powierzchniowego i erozji. W dłuższym okresie czasu silne zagęszczenie podglebia zwiększa również

ryzyko wystąpienia suszy, gdyż deformuje stosunki wodno-powietrzne w całym profilu oraz zmniejsza dostęp systemu korzeniowego do składników mineralnych zalegających poniżej tej warstwy, co w konsekwencji ogranicza rozwój roślin. Badania symulacyjne nad oceną uziarnienia i właściwości fizycznych przeprowadzone w IUNG-PIB w Puławach wykazały, że ponad jedna czwarta gleb w Polsce wykazuje wysoką podatność na zagęszczenie (rys. 3), co stwarza duże ryzyko ograniczenia retencji wody w profilu glebowym (2).



Rys. 2. Mapa odczynu gleb w Polsce

Źródło: Stuczyński in., 2007 (29)



Rys. 3. Podatność gleb na zagęszczenie przewidywana w modelu Alcor

Źródło: Czyż i in., 2013 (2)

Czynniki kształtujące retencję w skali zlewni, regionu i wsi

Z fizjograficznego punktu widzenia stosunki wodne w środowisku powinny być kształtowane w pierwszej kolejności w skali zlewni, jako naturalnie wyodrębnionego ekosystemu obiegu wody (14, 16, 27). Do podstawowych wskaźników charakteryzujących obieg wody w zlewni należą: odpływ bezpośredni, podziemny i parowanie (13). Z kolei do najważniejszych czynników fizjograficznych kształtujących stosunki wodne w zlewni zalicza się: rzeźbę terenu (nachylenie stoków), budowę geologiczną, przepuszczalność gleby, podatność na formułowanie spływu powierzchniowego oraz wielkość i intensywność opadów atmosferycznych. Istotnym elementem są również czynniki gospodarcze związane z użytkowaniem, czyli udział oraz rozmieszczenie użytków gruntowych w rzeźbie terenu, w tym przede wszystkim użytków leśnych i trwałych użytków zielonych, które zwiększają retencję, ograniczają odpływ i wy-

dłużają obieg wody (4, 16). Skutecznym sposobem zwiększenia retencji w zlewni jest budowa zbiorników retencyjnych, stopni spiętrzających i renaturyzacja mokradeł, które podwyższają poziom wód gruntowych w dolinie cieku, a także zwiększają stan uwilgotnienia gruntów przylegających i wilgotność powietrza w całej zlewni. Do istotnych czynników gospodarczych oddziałujących na stosunki wodne terenów o ukształtowanej rzeźbie należy również rozmieszczenie użytków rolnych oraz sieci dróg rolniczych (11). Należy podkreślić, że prace planistyczne realizowane na poziomie gminy oraz prace urządzenioworolne prowadzone w skali obrębu/wsi lub kilku wsi w zakresie wprowadzania użytków ochronnych (użytków leśnych, zadrzewień, zakrzewień, pasów przeciwwietrznych), kształtowania granicy rolno-leśnej czy budowy zbiorników retencyjnych, mogą również przyczynić się do zwiększenia retencji wodnej. Melioracje przeciwerozyjne, związane z projektowaniem sieci dróg rolniczych i granic działek ewidencyjnych, przyczyniają się do zwiększenia retencji wodnej w zlewni oraz tworzą podstawę do dalszych działań ochronnych – proretencyjnych, wdrażanych w skali gospodarstwa i pola.

Melioracje wodne są także ważnym elementem kształtowania stosunków wodnych. Według danych GUS w roku 2011 (7) w Polsce melioracjami wodnymi objęto 41,5% użytków rolnych, z czego zdecydowana większość jest zaniedbana, źle wykorzystana i funkcjonuje wyłącznie w trybie odwadniającym (31). Program kształtowania zasobów wodnych opracowany przez Wody Polskie (WP) zakłada budowę małych i dużych zbiorników retencyjnych oraz renaturyzację rzek i mokradeł. Przewiduje również przywrócenie dwufunkcyjności istniejącego systemu melioracji wodnych i wykorzystanie go do retencji korytovej (rzecznej). Według założeń WP przebudowa systemu w ciągu najbliższych lat może się przyczynić do wzrostu retencji w Polsce, z poziomu obecnych ok. 6,5% do nawet 7% (31).

Agrotechniczne możliwości zwiększenia retencji glebowej w skali gospodarstwa

Coraz częściej powtarzająca się na znacznym obszarze kraju susza rolnicza, która w ostatniej dekadzie występowała w każdym sezonie wegetacyjnym, jest dużym wyzwaniem i mocnym bodźcem skłaniającym rolników do poszukiwania rozwiązań łagodzących niedobór wody (3). Racjonalne zagospodarowanie użytków rolnych może mieć realny wpływ na ograniczenie skutków suszy i poprawę kondycji finansowej gospodarstw. Zadania rolnictwa w tym zakresie powinny koncentrować się na dwóch celach, tj.:

- 1) zwiększeniu pojemności wodnej i zwiększeniu procesu wsiąkania wody opadowej w profilu glebowym;
- 2) ograniczeniu procesu parowania z powierzchni gleby.

W pierwszym przypadku szczególne znaczenie ma materia organiczna, zwłaszcza zawarta w niej próchnica, która obok uziarnienia i struktury należy do głównych czynników korzystnie wpływających na zwiększenie retencji wodnej gleby. W wyniku

równolegle zachodzących procesów humifikacji i mineralizacji zasoby materii organicznej w glebie podlegają ciągłym dynamicznym zmianom ilościowo-jakościowym. Utrzymanie zrównoważonego salda bilansu tych procesów wymaga dostarczania do gleby określonej ilości materii organicznej w postaci nawozów organicznych i naturalnych, w tym resztek poźniwnych. Naturalnym sposobem dopływu materii organicznej do gleby i utrzymanie zrównoważonego bilansu próchnicy jest produkcja zwierzęca, która zapewnia systematyczne stosowanie nawozów naturalnych w postaci obornika i gnojowicy. Z kolei zapewnienie zrównoważonej gospodarki glebową materią organiczną w gospodarstwach o roślinnym kierunku produkcji wymaga podejmowania szerszego spektrum działań ochronnych, do których należą:

- stosowanie zmianowań z dużym udziałem roślin pozostawiających znaczną ilość resztek poźniwnych (m.in. roślin bobowatych i kukurydzy na ziarno) i tym samym sprzyjających reprodukcji materii organicznej,
- aplikowanie nawozów organicznych (np. osadów pofermentacyjnych z biogazowni),
- uprawa międzyplonów przeorywanych jako zielony nawóz lub rozdrabnianych w postaci mulczu.

Skutecznym sposobem na uzyskanie dodatniego bilansu materii organicznej i zwiększenia retencji wodnej gleb przy równoczesnym ograniczeniu erozji oraz wymycia składników pokarmowych jest stosowanie konserwujących, uproszczonych systemów uprawy roli, w których orka zastąpiona jest narzędziami nieodwracającymi rolę, a na powierzchni pozostawia się resztki poźniwne lub międzyplony w postaci mulczu. Do najczęściej stosowanych systemów uprawy uproszczonej w praktyce należą:

- **uprawa uproszczona** (ang. *reduce tillage*), w której płytkie zabiegi uprawowe prowadzone są równomiernie na całej powierzchni pola z zastosowaniem biernych narzędzi uprawowych, takich jak: agregat uprawowy, kultywator, brona talerzowa, brona łopatkowa, rozdrabniacz resztek poźniwnych. Głębokość uprawy jest uzależniona od ilości rozdrobnionej słomy i resztek poźniwnych (mulczu) i nie przekracza zwykle 10 cm;
- **uprawa pasowa** (ang. *strip tillage*) polegająca na uprawie wąskich pasów i siewie nasion bezpośrednio w ściernisko, mulcz lub w roślinę poplonową. W praktyce stosuje się technikę jedno- lub dwuprzejazdową. W pierwszym przypadku uprawiane są pasy gleby z jednoczesną wgłębną aplikacją nawozów mineralnych i siewem nasion rośliny uprawnej. W drugim przypadku pierwszy przejazd polega na uprawie pasów gleby wraz z wgłębną aplikacją nawozów mineralnych, natomiast podczas drugiego przejazdu wysiewane są nasiona rośliny uprawnej we wcześniej uprawionych pasach;
- **uprawa zerowa** (ang. *no till*) – szczególna odmiana uprawy konserwującej, która polega na zaniechaniu wszelkich zabiegów uprawowych, ograniczając się jedynie do siewu specjalistycznym siewnikiem w nieuprawioną glebę bezpośrednio w ściernisko lub w mulcz oraz na chemicznej ochronie roślin przed zachwaszczeniem.

Korzystny wpływ konserwujących systemów uprawy na wzrost wilgotności gleby oraz ograniczenie spływu powierzchniowego i masy wyerodowanej gleby potwierdzają wyniki symulowanych badań polowych z wykorzystaniem przenośnej deszczowni przeprowadzonych w gospodarstwie rolnym w miejscowości Kol. Rogów, gm. Grabowiec, zlokalizowanym w mezoregionie fizjograficznym „Działy Grabowieckie” na Wyżynie Lubelskiej (10). W systemie konserwującym z zastosowaniem mulczu odnotowano istotne ograniczenie objętości spływu powierzchniowego w stosunku do uprawy tradycyjnej; ponad 3-krotne ograniczenie w systemie siewu bezpośredniego i ponad 2,5-krotne w przypadku uprawy uproszczonej (tab. 1). Ograniczenie spływu powierzchniowego w systemach konserwujących wpłynęło również na wzrost wilgotności wierzchniej warstwy gleby.

Tabela 1

Wpływ konserwujących systemów uprawy na wilgotność gleby i erozję wodną

Wyszczególnienie	Dane statystyczne	System uprawy		
		tradycyjny	konserwujący	
			uproszczona	zerowa
Mulcz – pokrycie gleby (%)	średnia	12,5 b	14,2 b	44,6 a
	błąd standardowy	2,9	1,9	6,5
	przedział ufności –95%	6,5	10,2	31,3
	przedział ufności +95%	18,5	18,2	58,0
Wilgotność objętościowa wierzchniej warstwy gleby 0–15 cm (%)	średnia	17,9 a	18,5 a	21,3 a
	błąd standardowy	2,5	1,5	2,2
	przedział ufności –95%	12,5	15,3	16,6
	przedział ufności +95%	23,3	21,8	26,0
Objętość spływu powierzchniowego (ml·m ⁻²)	średnia	11796 b	4602 a	3989 a
	błąd standardowy	973	697	559
	przedział ufności –95%	9809	3183	2850
	przedział ufności +95%	13783	6021	5127
Masa wymytego materiału glebowego (g·m ⁻²)	średnia	340,9 b	90,6 a	57,4 a
	błąd standardowy	49,6	23,7	24,8
	przedział ufności –95%	239,7	42,3	6,9
	przedział ufności +95%	442,1	138,9	107,9

Źródło: Jadczyzyn, 2010 (10)

Kolejnym czynnikiem ograniczającym retencję glebową może być silnie zagęszczona warstwa podglebia, tzw. podeszwa płuzna. Zmniejszenie zagęszczenia w naturalny sposób jest praktycznie niemożliwe z uwagi na brak niskich temperatur w okresie zimowym, które mogłyby doprowadzić do przemarznięcia i rozluźnienia gleby na tej głębokości. Mały jest również udział roślin bobowatych wieloletnich o silnym systemie korzeniowym w strukturze zasiewów, które potencjalnie mogą rozluźnić zagęszczoną warstwę (23). Niezbędne w takich warunkach jest wykonanie

zabiegu głęboszowania, przeważnie na głębokość około 40–45 cm. Zabieg ten należy przeprowadzić w warunkach optymalnego dla danej gleby uwilgotnienia.

Silne zakwaszenie destrukcyjnie wpływa na strukturę gleby, prowadzi do zasklepienia wierzchniej warstwy, co zmniejsza proces wsiąkania wód opadowych, a zwiększa spływ powierzchniowy i ogranicza pojemność wodną gleb. Skutecznym działaniem w takich warunkach jest zabieg wapnowania przeprowadzony zgodnie z zaleceniami agrochemicznymi i kodeksem dobrej praktyki rolniczej (6, 12).

Parowanie z powierzchni gleby (ewaporacja) jest naturalnym procesem zachodzącym w środowisku i zależy głównie od czynników klimatycznych, takich jak: temperatura i wilgotność powietrza, usłonecznienie i prędkość wiatru. Woda wyparowana z powierzchni gleby ogranicza zasoby wodne dostępne dla systemu korzeniowego, zwiększa stres wodny i straty w plonach wywołane suszą. Bezproduktywna utrata wody w procesie ewaporacji może zostać w znacznym stopniu ograniczona w wyniku takich działań, jak:

- skrócenie okresu utrzymywania nieprzykrytej gleby (czarnego ugoru) wyeksponowanej na działanie promieni słonecznych;
- ograniczenie lub zaniechanie zabiegów agrotechnicznych prowadzących do przesuszenia wierzchniej warstwy gleby i wykonywania ich w niekorzystnych warunkach pogodowych (przesuszenia gleby, występowania silnych wiatrów);
- stworzenie optymalnych warunków powietrzno-wodnych i żywieniowych (zaopatrzenie roślin w składniki pokarmowe) do właściwego rozwoju roślin.

Do skutecznych działań ograniczających parowanie wody z powierzchni gleby należą:

- stosowanie uproszczonego i zerowego systemu uprawy z zastosowaniem mulczu;
- uprawa międzyplonów;
- pozostawienie słomy i resztek poźniwnych w postaci mulczu na powierzchni pola.

Należy jednak podkreślić, że w warunkach dużego niedoboru wody w sezonie wegetacyjnym stosowanie międzyplonów przyczyni się do dodatkowego zużycia zasobów wody glebowej.

Podsumowanie

Niekorzystne zmiany klimatyczne, w szczególności brak odpowiedniej ilości opadów atmosferycznych w sezonie wegetacyjnym, są przyczyną deficytu wody dostępnej dla roślin i zwiększenia częstotliwości występowania suszy rolniczej w ostatnich latach. Okresowe braki wody w pogłębiu są dodatkowo pogłębiane przez wysokie temperatury powietrza i wydłużone fale upałów, które nasilają proces ewaporacji.

W skali kraju występują również czynniki niekorzystnie wpływające na naturalną retencję wody w profilu glebowym związane z niewłaściwą gospodarką glebową materia organiczną, występowaniem gleb silnie zakwaszonych i podatnych na zagęszczanie. Z drugiej strony istnieją też duże możliwości poprawy gospodarki wodnej

i odbudowy retencji. Największe wymierne efekty w tym zakresie mogą przynieść działania zintegrowane na różnych poziomach zarządzania obszarami wiejskimi, a podejmowane w skali zlewni, regionu i wsi oraz gospodarstwa wiejskiego. Wzrost retencji wodnej w skali zlewni można uzyskać w wyniku budowy zbiorników retencyjnych, renaturyzacji mokradeł, cieków i oczek wodnych, przebudowy systemu melioracji wodnych dla potrzeb nawodnień i retencji korytowej. Prace planistyczne i urządzenioworolne połączone z procesem scalania gruntów umożliwiają wdrożenie szeregu działań zwiększających zasoby wodne. Do najważniejszych należy zaliczyć wprowadzenie użytków ochronnych (użytków leśnych i trwałych użytków zielonych, zadrzewień, zakrzewień, pasów przeciwwietrznych) i kształtowanie granicy rolno-leśnej, a także odpowiednie dostosowanie sieci dróg rolniczych i układu działek do ukształtowania rzeźby terenu na obszarach zagrożonych nasileniem spływu powierzchniowego i erozją wodną.

Możliwości zwiększenia pojemności wodnej gleb oraz ograniczenia ewapotranspiracji występują również na poziomie gospodarstwa i wiążą się z prowadzeniem zrównoważonej gospodarki glebową materią organiczną, optymalnym nawożeniem i wapnowaniem, utrzymaniem właściwej struktury gleby i ochroną podglebia przed nadmiernym zagęszczeniem, a także stosowaniem konserwujących bezorkowych systemów uprawy.

Należy podkreślić, że równoczesne zastosowanie zalecanych działań na różnych poziomach zarządzania rolniczą przestrzenią produkcyjną (zlewni, regionu, wsi i gospodarstwa) pozwoli uzyskać dodatkową synergię wzrostu retencji wodnej i znacząco ograniczyć zjawisko suszy rolniczej.

Literatura

1. Biętkowski J., Jankowiak J.: Zawartość węgla organicznego w glebie i jego zmiany pod wpływem różnych systemów produkcji. *Fragmenta Agronomica*, 2006, **2(90)**: 216-226.
2. Czyż E., Łopatka A., Dexter A.R., Łysiak M., Stanek-Tarkowska J.: Podatność gleb na zagęszczenie. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **35(9)**: 57-95.
3. Doroszewski A., Józwicki T., Wróblewska W., Kozyra J.: Susza rolnicza w Polsce w latach 1961–2010. Wydawnictwo IUNG-PIB, Puławy, 2014, ss. 144.
4. Fatyga J., Górecki A.: Kształtowanie granicy rolno-leśnej i darniowo-polowej w Sudetach. *IMUZ Falenty*, 2001, ss. 322.
5. Filipiek T.: Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleby. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilizaton*, 2005, **2(23)**: 67-83.
6. Grzebisz W., Szczepaniak W., Diatta J.B.: ABC wapnowania gleb uprawnych. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu. Wyd. PRODRUK, 2012, ss. 36.
7. GUS. *Ochrona środowiska 2012*, ss. 599.
8. Górski T.: Współczesne zmiany agroklimatu Polski. *Pamiętnik Puławski*, 2002, **130(1)**: 241-250.
9. Jadczyzyn J., Bartosiewicz B.: Procesy osuszania i degradacji gleb. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2020, **64(18)**: 49-60.
10. Jadczyzyn J.: Wpływ systemów uprawy roli na nasilenie procesów erozyjnych w warunkach zmian klimatu. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2010, **19**: 55-68.
11. Jadczyzyn J.: Możliwości poprawy bilansu wodnego gleb z uwzględnieniem melioracji przeciwoerozyjnych. *Biuletyn Informacyjny IUNG*, 1998, **7**: 29-31.
12. Jadczyzyn T., Kowalczyk J., Lipiński W.: Zalecenia nawozowe dla roślin uprawy polowej i trwałych użytków zielonych. *Materiały Szkoleniowe IUNG-PIB*, 2012, **95**: 1-24.

13. J a w o r s k i J.: Parowanie terenowe. W: Procesy hydrologii dynamicznej, U. Soczyńska (red). Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, 1989, ss. 146-196.
14. J o k i e l P.: Fizjograficzne uwarunkowania obiegu i retencji wody oraz migracji zanieczyszczeń w małej zlewni strefy podmiejskiej Łodzi. Acta Universitatis Lodzianensis. Folia Geographica Physica, 2014, **13**: 17-49.
15. K a c z y ń s k i R.: Czynniki siedliskowe warunkujące procesy akumulacji i rozkładu glebowej materii organicznej. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2010, **21**: 107-115.
16. K l i m a K., Mierzwa W.: Optymalizacja rozmieszczenia użytków rolnych w małej zlewni karpackiej. Fragmenta Agronomica, 2006, **2(90)**: 16-24.
17. K o w a l i ń s k i S.: Substancja organiczna gleb i jej przeobrażenia. PWRiL Warszawa, 1995.
18. K o z y r a J., Doroszewski A., Nieróbcza A.: Zmiany klimatyczne i ich przewidywany wpływ na rolnictwo w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2009, **14**: 243-257.
19. K o ż u c h o w s k i K.: Meteorologia i klimatologia. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2005, ss. 322.
20. Kuczyńska A., Surma M., Adamski T., Krajewski P., Mikołajczak K., Ogrodowicz P., Kempa M., Cwiek-Kupczyńska H., Trzeciak R.: Wpływ stresu niedoboru wody na rozwój i architekturę systemu korzeniowego u jęczmienia (*Hordeum vulgare* L.). Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Rzoślin. 2019, **286**: 117-121.
21. K u d l i c k i Ł.: Zagrożenie pustynnieniem w Polsce. Bezpieczeństwo Narodowe, **1/2006**: 201-211.
22. K u n d z e w i c z Z.W., K o z y r a J.: Ograniczanie wpływu zagrożeń klimatycznych w odniesieniu do rolnictwa i obszarów wiejskich. Polish Journal of Agronomy, 2011, **7**: 68-81.
23. K u ś J.: Gospodarowanie wodą w rolnictwie. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2016, **47(1)**: 83-104.
24. M a j e w s k i W.: Woda. Jakim celom służy i jak ją wykorzystać. PAN Warszawa, 2008, ss. 16.
25. O c h a l P.: Aktualny stan i zmiany żyzności gleb w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2015, **45(19)**: 9-25.
26. P a ł o s z T.: Rolnicze i środowiskowe znaczenie próchnicy glebowej i metodyka jej bilansu. Roczn. Ochrona Środowiska, 2009, **11**: 329-338.
27. S o c z y ń s k a U.: System hydrologiczny zlewni i modelowanie procesów obiegu wody. W: Procesy hydrologiczne, U. Soczyńska (red.). PWN, Warszawa. 1989, ss. 9-19.
28. S t a n i a k M., F a r i a s z e w s k a A.: Produktynność traw pastewnych w warunkach suszy. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2014, **41(15)**: 195-208.
29. S t u c z y ń s k i T., K o z y r a J., Ł o p a t k a A., S i e b i e l e c G., J a d c z y s z y n J., K o z a P., D o r o s z e w s k i A., W a w e r R., N o w o c i e ń E.: Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **7**: 77-115.
30. T e r e l a k H., S t u c z y ń s k i T., P i o t r o w s k a M.: Heavy metals in agricultural soils in Poland. Polish Journal of Soil Science, 1997, p. 35-42.
31. Wody Polskie. 2021 <https://www.wody.gov.pl/aktualnosci/1754-woda-dla-rolnictwa-dwie-funkcje-melioracji-i-wzrost-retencji-do-7> (28.10.2021)

Adres do korespondencji:

dr Jan Jadczyszyn
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 47 86 779
e-mail: Jan.Jadczyszyn@iung.pulawy.pl

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

**Artur Łopatka, Bożena Smreczak, Magdalena Łysiak, Piotr Koza,
Beata Suszek-Łopatka**

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

PROGNOZA WPŁYWU EZŁ NA WŁAŚCIWOŚCI GLEBY I PLONY ZBÓŻ Z WYKORZYSTANIEM METOD UCZENIA MASZYNOWEGO*

Słowa kluczowe: Europejski Zielony Ład, gleba, plon, uczenie maszynowe, lasy losowe

Wstęp

W odpowiedzi na ogólnoświatowe problemy klimatyczne i środowiskowe w roku 2019 Komisja Europejska (KE) przedstawiła propozycję nowej strategii Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ) (ang. *European Green Deal*) (17). Jej celem jest budowa nowoczesnej, zasobooszczędnej i konkurencyjnej gospodarki, której wzrost zostanie oddzielony od wykorzystania zasobów naturalnych i która do roku 2050 osiągnie neutralność klimatyczną. W zakresie Wspólnej Polityki Rolnej (WPR) zapowiedziano m.in. że „Plany strategiczne będą musiały odzwierciedlać bardziej ambitne cele obejmujące znaczące ograniczenie stosowania chemicznych pestycydów i zagrożeń z nimi związanych, jak również stosowania nawozów i antybiotyków.”. Zapisy implementujące założenia EZŁ odnośnie stosowania nawozów i pestycydów w rolnictwie, w przedstawionej w roku 2020 przez KE strategii „od pola do stołu” (18), zapowiadają do 2030 r.:

- ograniczenie zużycia pestycydów o 50%;
- ograniczenie „strat składników pokarmowych o co najmniej 50%, przy jednoczesnym zapewnieniu, by nie doszło do pogorszenia żyzności gleby”, co doprowadzi do ograniczenia zużycia nawozów sztucznych o co najmniej 20%;
- przeznaczenie na rolnictwo ekologiczne co najmniej 25% gruntów rolnych w UE;
- objęcie 10% powierzchni użytków rolnych UE elementami krajobrazu o wysokiej różnorodności.

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.2 pt. „Gleby użytkowane rolniczo” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

W przedstawionym dla Polski w roku 2021 przez MRiRW Planie Strategicznym na lata 2023–2027 znalazł się ponadto w ramach ekoschematu „Opracowanie i przestrzeganie planu nawożenia” (25) zapis zapowiadający:

- dopłaty do wapnowania gleb o $\text{pH} \leq 5,5$ (od 2023 r.).

Wsparcie uzyskują również działania ograniczające straty składników pokarmowych, w tym plany nawozowe oparte na chemicznej analizie zasobności gleby oraz wdrożenie metod rolnictwa precyzyjnego. Wprowadzenie działań zarówno redukujących dawki środków produkcji, jak i zwiększających efektywność ich wykorzystania sprawia, że ocena efektu netto planowanych zmian zarówno w odniesieniu do właściwości gleb, jak i poziomu plonów nie jest oczywista. Bez takiej oceny utrudnione są jednak kolejne kroki w zakresie efektywnego uszczegółowionego wdrożenia założeń EZŁ do Planów Strategicznych i praktyki rolniczej.

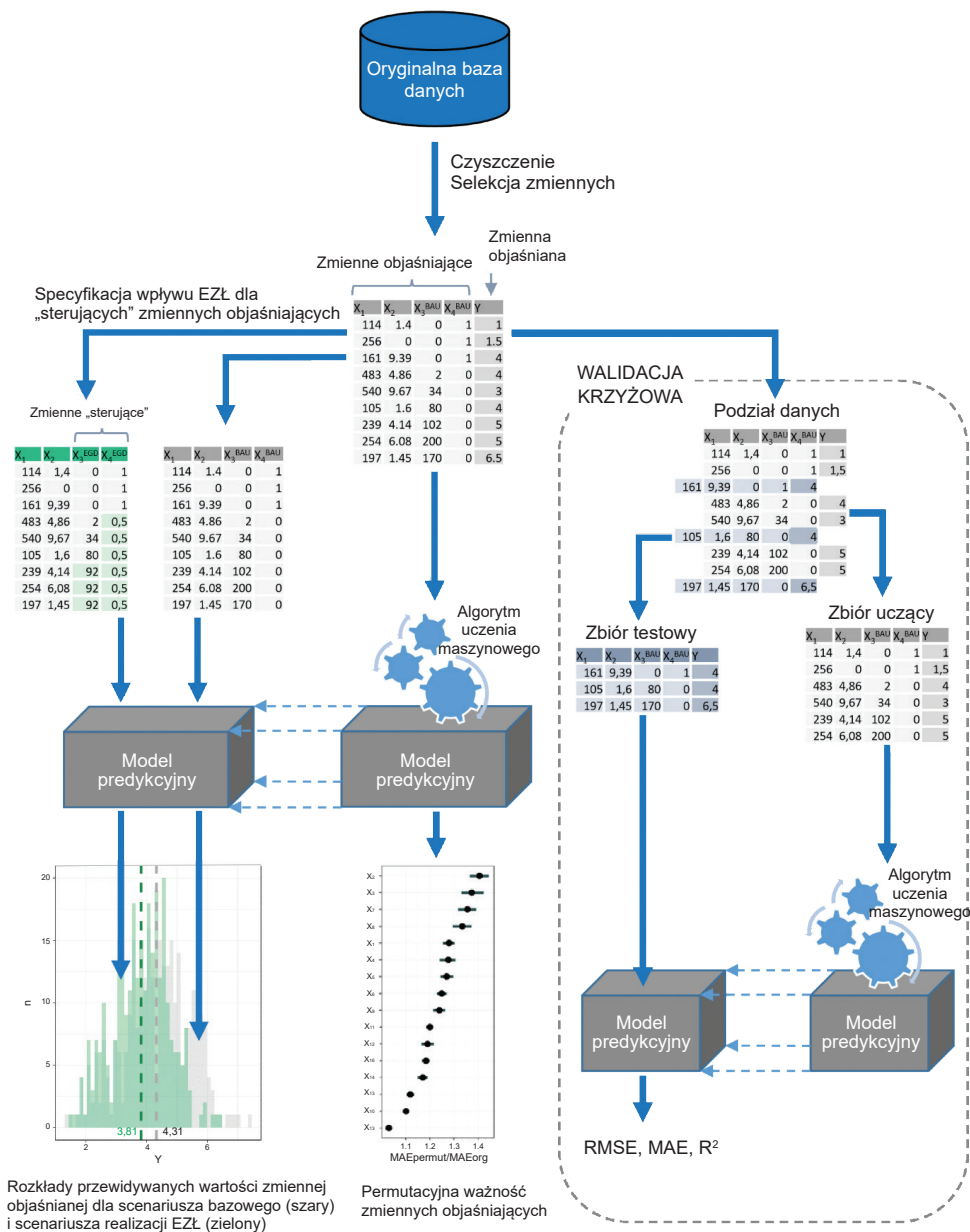
Szybkie tempo wprowadzania zmian w polityce rolnej kontrastuje z raczej powolnym procesem dyskusji, budowy, testowania i uzyskiwania konsensusu naukowego dla modeli wiążących zmiany polityki ze zmianami w środowisku. Przyspieszenie procesów konstrukcji użytecznych modeli jest obecnie możliwe dzięki dynamicznie rozwijającym się metodom sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego (3, 31). Dzięki nim model ukierunkowany na prognozowanie, rozpoznawanie określonych wzorców lub podejmowanie właściwych decyzji tworzony jest w sposób automatyczny na podstawie zestawu tzw. danych uczących. Ponadto wybór metod uczenia maszynowego pozwala na ucieczkę od problemu arbitralności decyzji w zakresie konstrukcji algorytmów modeli, co jest szczególnie ważne w kontekście prognozowania efektów decyzji politycznych. Do ograniczeń metod uczenia maszynowego należy ich zależność jedynie od informacji zawartej w zbiorze uczącym z pominięciem większości dotychczasowego dorobku wiedzy dziedzinowej. Metody uczenia maszynowego wymagają więc większego nadzoru nad jakością i reprezentatywnością danych uczących dla badanego problemu, kontroli porównawczej nowych przewidywań z ustaleniami poczynionymi innymi metodami (7) i ostrożnego wnioskowania o relacjach przyczynowości w odniesieniu do użytecznych zmiennych objaśniających (35). Chociaż modele prognostyczne uzyskane metodami uczenia maszynowego są najczęściej trudniejsze w interpretacji niż klasyczne modele statystyczne ograniczenie to można pokonać, stosując tzw. metody agnostyczne (37, 24, 22, 2). Pozwalają one na interpretację wszelkich modeli predykcyjnych, niezależnie od różnic algorytmicznych, co jest szczególnie cenne w analizie porównawczej.

Przewidywanie wpływu EZŁ na gleby i plony będzie więc w przedstawionej pracy okazją do prezentacji zastosowań wybranych narzędzi uczenia maszynowego.

Metodyka

W zastosowanym procesie opracowania prognozy wpływu EZŁ na gleby i plony (rys. 1) wydzielić można pięć faz: 1) przygotowania danych historycznych zawierających zmienne objaśniające oraz zmienną objaśnianą; 2) wyboru i uczenia modeli na zestawie danych historycznych; 3) wykorzystania uzyskanych modeli predyk-

cyjnych do prognozowania wartości zmiennej objaśnianej z danych dla zmiennych objaśniających: a) historycznych w scenariuszu bazowym (SB) i b) syntetycznych różniących się od historycznych jedynie w przypadku zmiennych „sterujących” w scenariuszu realizacji Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ); 4) wykonania walidacji krzyżowej; 5) interpretacji wyników.



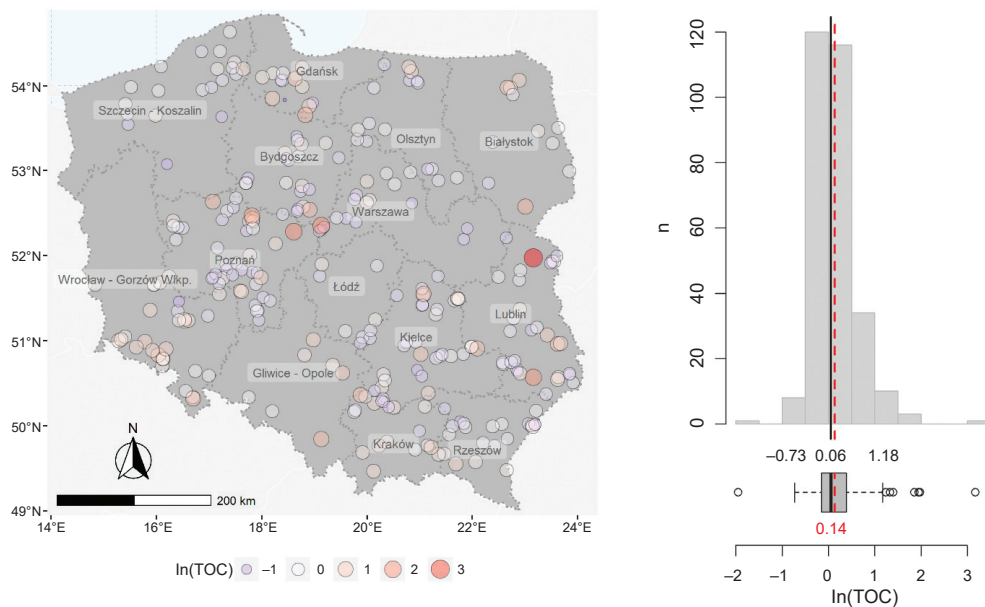
Wybrane fazy procesu prognozowania omówiono bardziej szczegółowo w kolejnych podpunktach.

1. Przygotowanie danych

Do oceny wpływu EZŁ na właściwości gleby i plony wykorzystano dane z monitoringu gleb prowadzonego przez IUNG-PIB na potrzeby oceny działań Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW) w ramach zadania 1.3 PW 2016–2020 (32). Baza zawiera zarówno różnorodne parametry charakteryzujące gleby, jak i informacje o jej uprawie, plonie i stosowanej agrotechnice uzyskane metodą ankietową. W bazie nie zbierano jawnie informacji o poziomie stosowania środków ochrony roślin, jednak zbierano informacje o uprawianych roślinach, co pozwala na powiązanie z poszczególnymi lokalizacjami stosowanej dla wybranej uprawy w kraju przeciętnej dawki pestycydów (10). Ponadto baza umożliwia wskazanie działek, na których realizowano działanie „Rolnictwo Ekologiczne”, co wiąże się z zaniechaniem stosowania nawozów mineralnych i pestycydów. W bazie zawarte są dane z lat 2017 i 2018 odpowiednio dla 536 i 559 działek rozłożonych w przybliżeniu równomiernie na obszarze UR Polski. Ponieważ rodzaj uprawy wpływa na właściwości gleby, zdecydowano, że dalsze analizy dotyczyć będą jedynie zbóż podstawowych (pszenica, jęczmień, pszenżyto, żyto i owies), które są grupą upraw o największym areale w strukturze gruntów ornych w kraju i znacznym podobieństwie w zakresie agrotechniki i fizycznych właściwości plonu. Po usunięciu działek, dla których brakowało kluczowych informacji o lokalizacji, najważniejszych parametrach gleby, agrotechnice lub plonie uzyskano bazę zawierającą pełną informację dla obsianych zbożami podstawowymi 169 działek z roku 2017 i 125 z roku 2018. Wśród wybranych parceli działanie „Rolnictwo Ekologiczne” realizowano na 19 działkach z roku 2017 i 19 z roku 2018. W dalszej analizie dane z lat 2017 i 2018 wykorzystywano łącznie jako bazę dla $N = 294$ działki, a jedyną zmianą zależną od roku był klimatyczny bilans wodny.

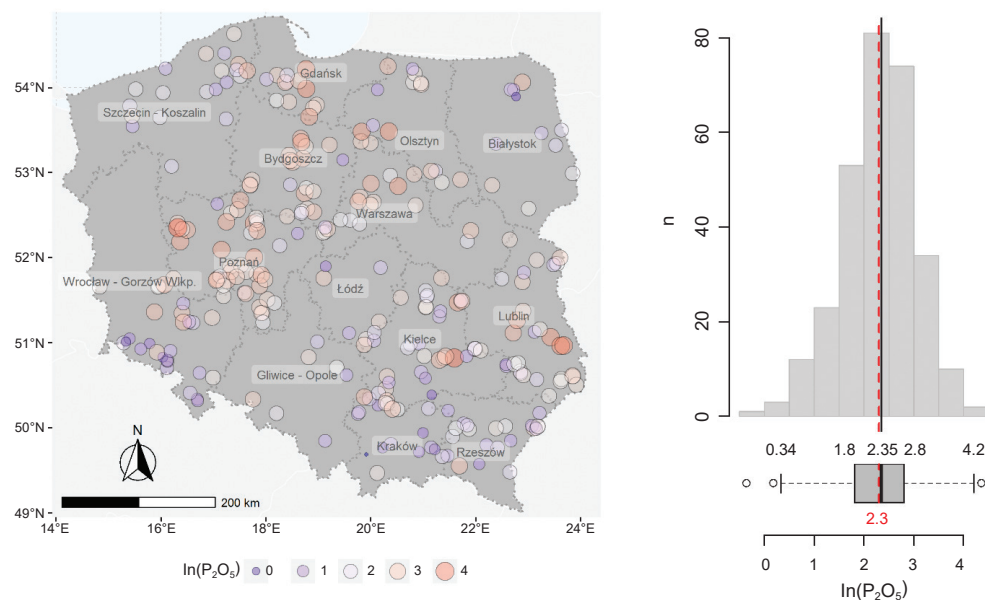
Jako zmienne objaśniane z bazy danych monitoringu PROW wybrano: TOC – zawartość węgla organicznego w glebie (rys. 2), P_2O_5 – zasobność gleb w przyswajalny fosfor (rys. 3), K_2O – zasobność gleb w przyswajalny potas (rys. 4), Mg – zasobność gleb w przyswajalny magnez (rys. 5), Y – plon zbóż podstawowych (rys. 6).

Ponieważ wstępna analiza wykazała, że wartości TOC, P_2O_5 , K_2O i Mg mają rozkład silnie skośny, dlatego dalsze analizy przeprowadzono na wartościach zlogarytmowanych, odpowiednio: $\ln(\text{TOC})$, $\ln(P_2O_5)$, $\ln(K_2O)$ i $\ln(\text{Mg})$. W przypadku jednej próbki, gdzie wartość zmierzona Mg wynosiła zero przyjęto, że wartość rzeczywista to połowa wartości ostatniej cyfry pomiaru, a więc $0,5 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$.



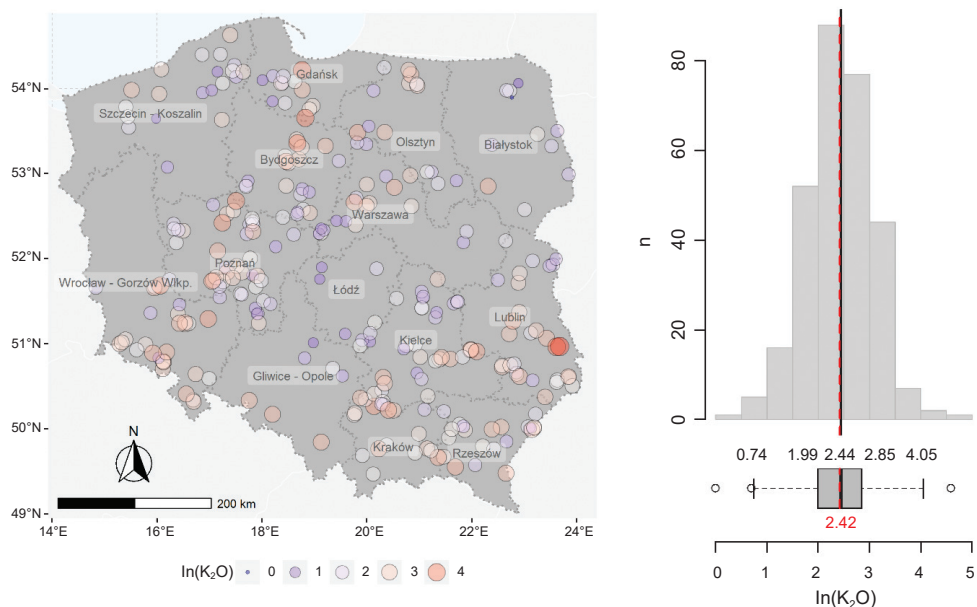
Rys. 2. Zmienność $\ln(\text{TOC})$ w analizowanej próbie działek z lat 2017–2018:
i) mapka (po lewej); ii) rozkład (po prawej)

Źródło: opracowanie własne



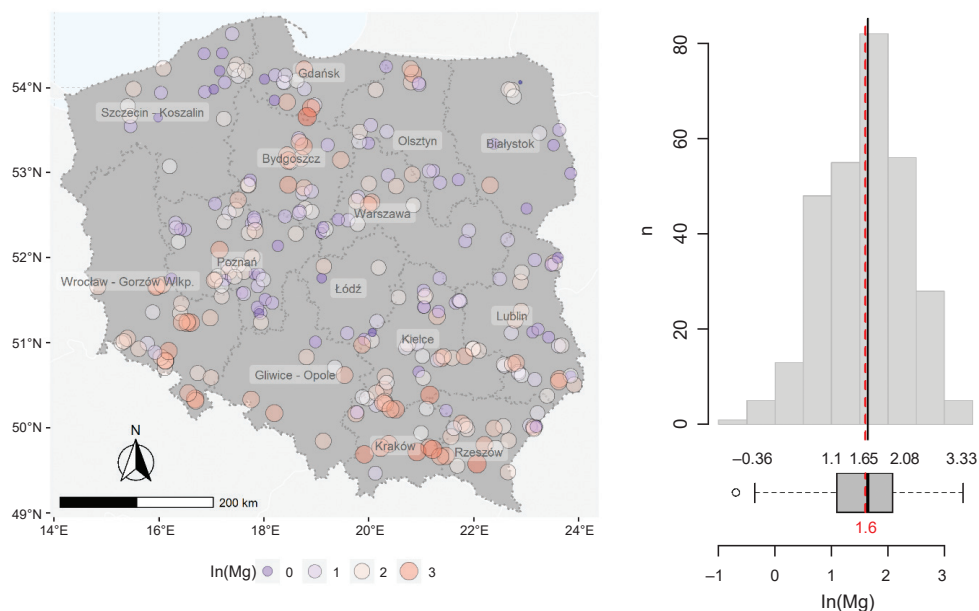
Rys. 3. Zmienność $\ln(\text{P}_2\text{O}_5)$ w analizowanej próbie działek z lat 2017–2018:
i) mapka (po lewej); ii) rozkład (po prawej)

Źródło: opracowanie własne



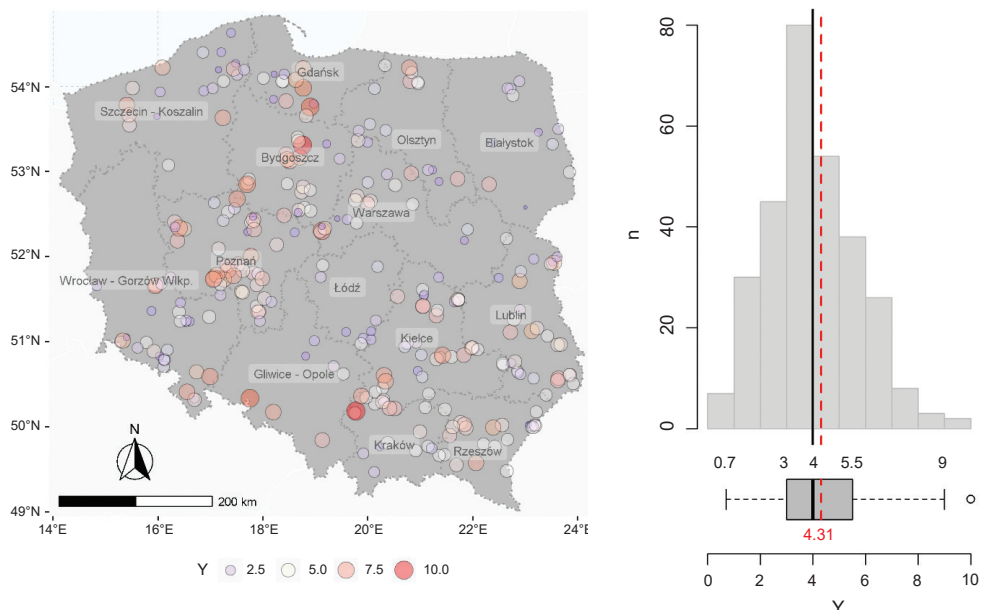
Rys. 4. Zmienność $\ln(K_2O)$ w analizowanej próbie działek z lat 2017–2018:
i) mapka (po lewej); ii) rozkład (po prawej)

Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Zmienność $\ln(Mg)$ w analizowanej próbie działek z lat 2017–2018:
i) mapka (po lewej); ii) rozkład (po prawej)

Źródło: opracowanie własne



Rys. 6. Zmienność plonu Y ($t \text{ ha}^{-1}$) w analizowanej próbie działek z lat 2017–2018:
i) mapka (po lewej); ii) rozkład (po prawej)

Źródło: opracowanie własne

Wartości średnie parametrów glebowych w analizowanej próbie działek wynoszą odpowiednio dla: TOC – 1,36%, P_2O_5 – 12,9 $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, K_2O – 13,8 $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ i Mg – 6,34 $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, podczas gdy średnie zmierzone dla 216 lokalizacji z roku 2015 w Monitoringu Chemizmu Gleb Ornych Polski (12) wynoszą odpowiednio dla: TOC – 1,12%, P_2O_5 – 15,4 $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, K_2O – 17,0 $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ i Mg – 7,35 $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. Średni plon zbóż podstawowych na analizowanej próbie działek z lat 2017–2018 wyniósł 4,31 $t \cdot \text{ha}^{-1}$, podczas gdy średni plon zbóż podstawowych rejestrowany przez GUS z tego samego okresu dla całego kraju wyniósł 3,72 $t \cdot \text{ha}^{-1}$ (9).

W wyborze zmiennych objaśniających kierowano się ich znaczeniem dla procesów glebowych i poziomu plonowania oraz dostępnością przestrzennych baz danych o dostatecznej rozdzielczości. Starano się przy tym ograniczać wprowadzanie zmiennych o podobnym znaczeniu lub w oczywisty sposób silnie skorelowanych. Łączny zestaw 16 wybranych zmiennych objaśniających przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Wykorzystane w analizie zmienne objaśniające

	Symbol	Definicja zmiennej objaśniającej i jej wpływ na właściwości gleby oraz plony		Zakres zmienności				Źródło danych
				minimum	mediana	średnia	maximum	
Lokalizacja	LAT	szerokość geograficzna (°)	zmienne dodane jako substytut zmiennych istotnych, lecz pominiętych w modelu, ograniczają niekorzystne efekty niestacjonarności i autokorelacji przestrzennej (1)	49,5	51,7	51,8	54,6	(32)
	LONG	długość geograficzna (°)		14,8	19,8	19,6	23,9	(32)
Rzeźba terenu	ALT	wysokość n.p.m. (m) w rastrze o rozdzielczości 20 m; wpływ na procesy glebowe i ekonomikę produkcji rolnej		4	160	193	587	(8)
	SL	nachylenie terenu (%); obliczone na podstawie zmiennej ALT w rastrze o rozdzielczości 20 m; duże nachylenia ograniczają możliwości mechanizacji uprawy i zwiększają narażenie na erozję wodną		0,0	3,4	6,1	32,4	obliczenia własne na danych (8)
	TWI	topograficzny indeks wilgotności (-); obliczony na podstawie zmiennej ALT w rastrze o rozdzielczości 20 m za pomocą programu SagaGIS wg aktualnych rekomendacji (19); topograficzna składowa wilgotności gleby		5,1	8,3	8,8	18,7	obliczenia własne na danych (8)
Klimat	CWB	klimatyczny bilans wodny (mm) będący różnicą opadu i ewapotranspiracji potencjalnej w okresie od 21 marca do 30 września (4); w zależności od roku pobrania próbki gleby i określenia wysokości plonu dane z roku 2017 lub 2018; klimatyczna składowa wilgotności gleby; niskie wartości redukują plonowanie i przyspieszają mineralizację glebowej materii organicznej		-545	-187	-211	204	obliczenia własne na danych (15)
	GDD5	suma temperatur efektywnych (dzień °C) dla okresu wegetacyjnego (dni z temp. >5°C) będąca sumą dobowych wartości różnic średniej temperatury dziennej i temperatury bazowej równej 5°C; uśredniona dla lat 1971–2015; niskie wartości obniżają stabilność plonowania		1450	1871	1846	2062	(13)

cd. tab. 1

	Symbol	Definicja zmiennej objaśniającej i jej wpływ na właściwości gleby oraz plony	Zakres zmienności				Źródło danych
			minimum	mediana	średnia	maximum	
Gleby	AWC	połowa pojemność wodna gleby (mm) w warstwie korzeniowej obliczona na podstawie danych cyfrowej mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25000 i pomiary zdolności retencyjnej gleb (33); wysokie AWC ogranicza skutki suszy	92	164	165	345	(14)
	CLAY	zawartość frakcji ilastej (%) w warstwie ornej gleby; decyduje o strukturze gleby, jej pojemności retencyjnej i sorpcyjnej	0,0	3,0	3,7	11,8	(32)
	pH	odczyn gleby (pH) oznaczony w H ₂ O; wpływa na przyswajalność składników pokarmowych i zanieczyszczeń	4,5	6,3	6,3	8,6	(32)
Użytkowanie	PEST	średni poziom dawki pestycydów (kg·ha ⁻¹) dla poszczególnych zbóż (10); w przypadku realizacji na działce działania „Rolnictwo Ekologiczne” przyjęto wartość 0 (25)	0,00	0,80	0,72	1,30	(32, 10)
	Nmin	poziom nawożenia mineralnego azotem w przeliczeniu na czysty składnik (kg N·ha ⁻¹ UR)	0	80	77	211	(32)
	Pmin	poziom nawożenia mineralnego fosforem w przeliczeniu na czysty składnik (kg P ₂ O ₅ ·ha ⁻¹ UR)	0	40	39	436	(32)
	Kmin	poziom nawożenia mineralnego potasem w przeliczeniu na czysty składnik (kg K ₂ O·ha ⁻¹ UR)	0	50	48	300	(32)
	LU	obsada zwierząt w gospodarstwie (sztuki duże·ha ⁻¹ UR); wpływa na poziom dawek nawozów organicznych	0,00	0,12	0,53	8,08	(32)
	PA	powierzchnia działki rolnej (ha); małe działki są przeważnie użytkowane ekstensywnie i częściej odłogowane	0,4	2,1	4,2	98	(32)

Źródło: opracowanie własne

2. Wybór i uczenie modeli

Analizowany w artykule problem prognozowania wybranej wielkości na podstawie wskazanego zestawu cech jest w dziedzinie uczenia maszynowego klasyfikowany jako uczenie nadzorowane. Ponieważ prognozowana wielkość jest ciągłą, zalicza się je do problemów typu regresja. Do najczęściej stosowanych metod uczenia maszynowego

dla problemów typu regresja należą: regresja liniowa (LM), regresja liniowa regularyzowana (Ridge, LASSO), uogólnione modele liniowe (GLM), drzewa decyzyjne (DT), lasy losowe (RF), algorytm k-najbliższych sąsiadów (k-NN), maszyna wektorów nośnych (SVM) oraz sieci neuronowe (NN). Wśród nich regresja liniowa jest metodą klasyczną i prostą, przez co stanowi dogodny punkt odniesienia dla metod bardziej skomplikowanych. Z tego powodu regresję liniową wybrano jako model referencyjny. Od regresji prostsze w interpretacji są drzewa decyzyjne, lecz pojedyncze drzewo decyzyjne jest podatne na nadmierne dopasowanie do danych uczących i nie sprawdza się dobrze w roli modelu wykrywającego rzeczywiste relacje w danych, tzn. relacje użyteczne w przypadku ekstrapolacji problemu poza obszar danych treningowych. Rozwiązaniem tego ograniczenia jest uśrednianie wielu drzew decyzyjnych trenowanych na niezależnych podzbiorach danych uczących wykorzystane w lasach losowych. Lasy losowe dziedziczą po drzewach decyzyjnych niezależność od skali zmiennych, a ponadto ich trening i testowanie na wielokrotnie losowanych ze zwracaniem podzbiorach niezależnych prowadzi do oszacowania błędu modelu (ang. *Out-of-bag error*) podobnego do uzyskiwanego w teście walidacji krzyżowej. Jakość przewidywań lasów losowych jest zazwyczaj dość wysoka, porównywalna z metodami o dłuższym i bardziej skomplikowanym sposobie uczenia, jak np. sieci neuronowe. Wymienione cechy sprawiają, że lasy losowe stosowane są często jako model pierwszego zastosowania (34). Ich wykorzystanie jest popularne w hydrologii (34), mapowaniu gleb (11, 38) i predykcji plonów (16, 27). Z tego powodu lasy losowe zostały wybrane jako drugi model w prezentowanej analizie. Trening modeli regresji liniowej (LM) i lasów losowych (RF) przeprowadzono w programie R (29) na zestawie danych historycznych odpowiednio: za pomocą funkcji wbudowanej i za pomocą pakietu „randomForest” (21). Lasy losowe trenowano przy ustawieniach domyślnych ($n_{tree} = 500$, $m_{try} = \text{liczba zmiennych}/3$).

3. Prognozowanie dla scenariusza bazowego i scenariusza EZŁ

Do prognozowania wartości zmiennej objaśnianej z danych dla zmiennych objaśniających użyto uzyskanych na etapie uczenia modeli predykcyjnych: a) historycznych w scenariuszu bazowym (BAU) i b) syntetycznych różniących się od historycznych jedynie w przypadku zmiennych „sterujących” w scenariuszu realizacji Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ).

W scenariuszu realizacji EZŁ nie uwzględniano działań wspomagających wprowadzanie nowych technologii w gospodarstwach, przyjęto jedynie, że najważniejsze założenia dotyczące nawozów mineralnych i pestycydów mogą być przepisane w formie warunków dotyczących wybranych, wymienionych poniżej w punktach zmiennych objaśniających – „sterujących”:

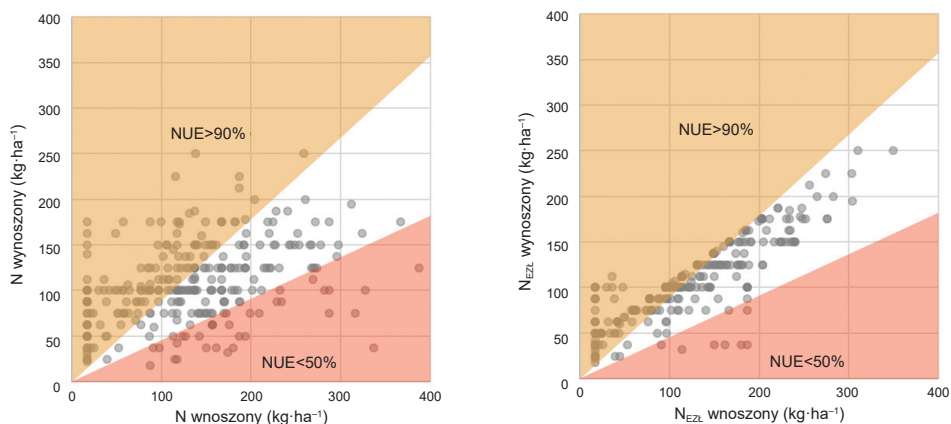
- **PEST** – poziom dawki pestycydów

Zadeklarowana w strategii „od pola do stołu” redukcja zużycia pestycydów o 50% została w Planie Strategicznym przyjętym przez MRiRW częściowo zaimplementowana w realizacji ekoschematów odnoszących się do integrowanej produkcji roślin i ochrony biologicznej, tak że szacowana redukcja zużycia pestycydów w Polsce wyniesie 5% (25). Przyjęto więc, że dla scenariusza realizacji EZŁ dla wszystkich gospodarstw, które nie realizowały pakietu „Rolnictwo Ekologiczne” zmienna PEST wynosić będzie 0,95 wartości zmiennej PEST dla danych aktualnych oraz danych dla scenariusza bazowego. Założenie to oznacza że restrykcje związane z redukcją stosowania pestycydów ponoszone będą przez wszystkie gospodarstwa w tym samym stopniu. Ze względu na szacunkowy charakter danych o poziomie stosowania środków ochrony roślin w poszczególnych lokalizacjach przyjęcie bardziej realistycznych założeń nie jest możliwe.

- **Nmin** – poziom nawożenia mineralnego azotem (rys. 7)

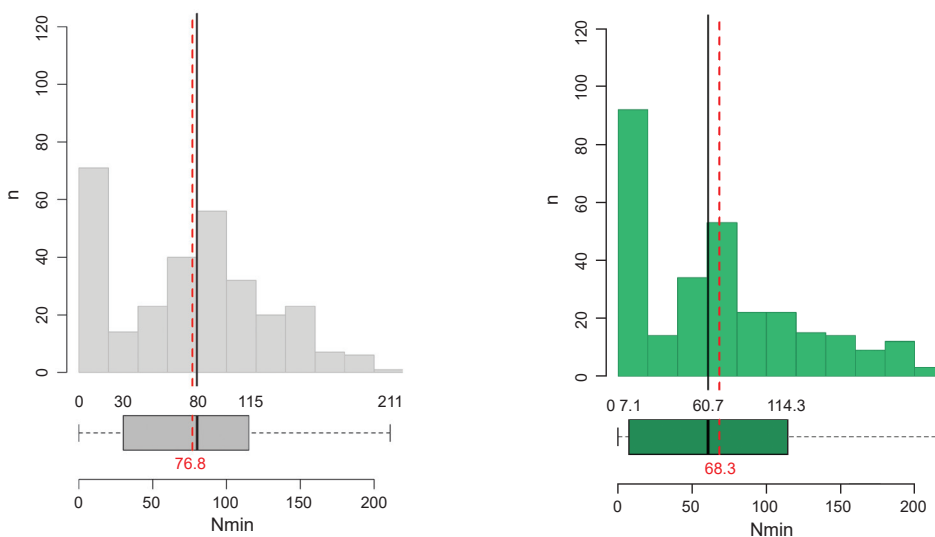
W Krajowym Planie Strategicznym przewidziano liczne interwencje – ekoschematy, przyczyniające się do realizacji zapowiedzianego w strategii „od pola do stołu” celu redukcji strat składników pokarmowych (25). Ponieważ wymienione interwencje są dobrowolne i nie zawierają jawnie zapisanych wymogów redukcji nawożenia, na potrzeby prowadzonej analizy przyjęto, że głównym źródłem redukcji będzie wdrażanie wprowadzonego ustawą w 2020 r. „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (5), określanego dalej jako program azotanowy. Pomimo że zapisy programu azotanowego wprowadzające obowiązek sporządzania i stosowania uproszczonego bilansu azotu dla określenia jego dawki w nawozach obejmują gospodarstwa duże (>100 ha) lub gospodarujące intensywnie, to jednak przyjęto, że w perspektywie roku 2030 sposób ten znajdzie powszechne zastosowanie.

Poziom dawek azotu w nawozach mineralnych dla scenariusza EZŁ uzyskano więc w wyniku zastosowania uproszczonego bilansu azotu do wykorzystywanych w analizie danych historycznych przy upraszczającym założeniu, że deklarowany oczekiwany poziom plonów wykorzystywany w obliczeniach uproszczonego bilansu pozostaje bez zmian. Obliczony poziom dawek azotu mineralnego w scenariuszu EZŁ jest średnio równy $68,3 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, a więc o 11% niższy od wyjściowego równego $76,8 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (rys. 8), przy czym redukcja strat azotu (bilansu dla lokalizacji, gdzie jest on dodatni) wynosi 57%, a efektywność jego wykorzystania mierzona wskaźnikiem NUE zdefiniowanym jako stosunek azotu wynoszonego w plonie do azotu wnoszonego (26) wzrasta z 81% do 87% (rys. 7).



Rys. 7. Zależność pomiędzy ilością azotu wnoszonego i wynoszonego w uprawie zbóż podstawowych: i) aktualnie i dla scenariusza bazowego (po lewej), ii) po wprowadzeniu EZŁ (po prawej). Kolorami zaznaczono obszary niepożądanego poziomu wykorzystania azotu (26) prowadzącego bądź do zubożenia gleby (NUE > 90%) lub jego nadmiernych strat i zagrożeń środowiskowych (NUE < 50%)

Źródło: opracowanie własne

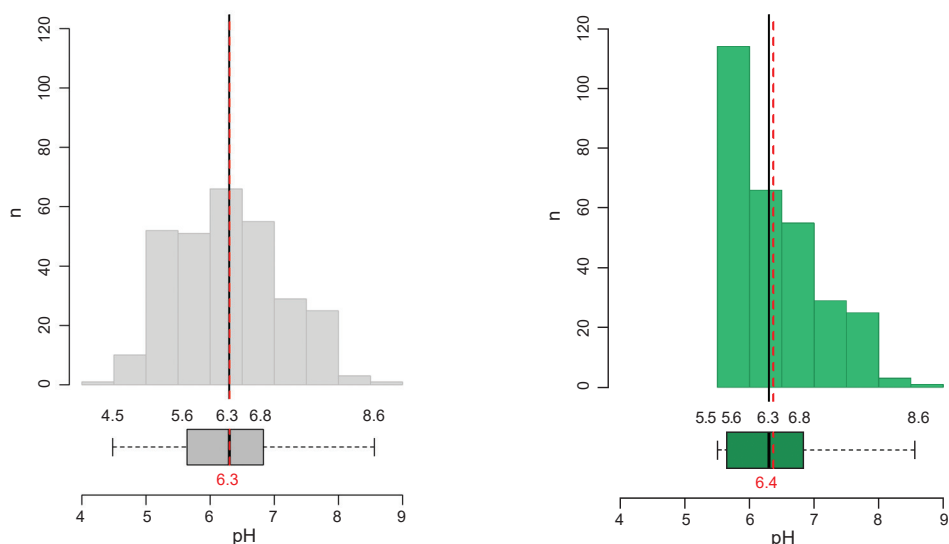


Rys. 8. Rozkłady w analizowanej próbie działek z lat 2017–2018: i) poziomu nawożenia mineralnego azotem (po lewej, kolorem szarym), ii) zakładanego poziomu nawożenia po wprowadzeniu EZŁ (po prawej, kolorem zielonym)

Źródło: opracowanie własne

- **pH** – odczyn gleb (rys. 9)

Przyjęto, że warunek objęcia dopłatami gleb o odczynie pH mniejszym lub równym 5,5 (w KCl) prowadzić będzie do ustabilizowania odczynu gleb objętych dopłatami na poziomie 5,5 (w H₂O).



Rys. 9. Rozkłady w analizowanej próbie działek z lat 2017–2018: i) poziomu pH gleb (po lewej, kolorem szarym), ii) zakładanego poziomu pH po wprowadzeniu EZŁ (po prawej, kolorem zielonym)
 Źródło: opracowanie własne

4. Walidacja krzyżowa

Oryginalne błędy modelu regresji liniowej wyznaczone są na danych treningowych, więc są oceniane zbyt optymistycznie, natomiast oryginalne błędy modelu lasów losowych są błędami OOB, a więc są oceniane podobnie restrykcyjnie jak w przypadku walidacji krzyżowej. W celu uzyskania błędów porównywalnych modele poddano 2 testom walidacji krzyżowej:

- **LOO** (ang. *Leave-one-out*) – klasyczny sprawdzian krzyżowy, w którym model trenowany jest na całym zbiorze z pominiętym jednym elementem, a następnie model predykcyjny prognozuje wartość pominiętego elementu; proces jest powtarzany dla wszystkich elementów zbioru. Sprawdzenie jest restrykcyjne, pod warunkiem, że dane nie wykazują silnej autokorelacji, np. przestrzennej (30, 28). Autokorelacja przestrzenna obniża wartość predykcyjną pojedynczych pomiarów, ponieważ informacje w danych z sąsiednich lokalizacji są w znacznym stopniu zreplikowane, co w konsekwencji powoduje niedoszacowanie rzeczywistych błędów modelu (6).
- **CVB** – sprawdzian k-krotny blokowy – z uwagi na dużą wrażliwość wyników pomiarów parametrów glebowych na sposób poboru i przygotowania próbek do analiz, dane podzielono na bloki odpowiadające przestrzennemu zasięgowi działania jednostek pobierających i analizujących próbki gleb (jeden lub kilka OSChR, razem 14 bloków).

Testy walidacji krzyżowej wykonano w programie R za pomocą pakietu „caret” (20).

5. Interpretacja

Interpretując wyniki procesu uczenia modeli, dokonano oceny ich zdolności predykcyjnej, w tym: stopnia, w jakim modele wyjaśniają zmienność cechy (R^2); zmiany pierwiastka błędu średniokwadratowego (RMSE) i średniego błędu bezwzględnego (MEA) pomiędzy walidacją LOO a CVB oraz globalnej autokorelacji reszt mierzonej testem Morana.

Analizując wpływ scenariusza na zmienną objaśnianą, starano się wyjaśnić go pozycją na wykresie ważności zmiennych, a także znakiem współczynnika regresji liniowej dla zmiennych „sterujących”, jeśli zależność pomiędzy zmienną sterującą a objaśnianą jest monotoniczna.

Dla modeli regresji liniowej i lasów losowych porównano permutacyjną ważność zmiennych będącą miarą agnostyczną, tzn. możliwą do zastosowania w dowolnym typie modelu, obliczaną jako iloraz średniego błędu bezwzględnego dla modelu z losowo przesortowaną zmienną objaśniającą i modelu ze zmienną oryginalną. W przypadku regresji liniowej jako miarę ważności zmiennej i informacji o znaku współczynnika regresji podano dodatkowo wartości statystyki testowej t będącej ilorazem wartości współczynnika regresji do jego błędu standardowego.

Modele oceniano pozytywnie, gdy rankingi ważności zmiennych dla obu modeli dla najważniejszych zmiennych były zgodne, ponieważ świadczy to o tym, że wykrywany układ zależności jest wyraźny i poprawnie rozpoznawany niezależnie od modelu.

Dla modeli zmiennych zlogarytmowanych, a więc zmiennych o rozkładzie zbliżonym do rozkładu log-normalnego, zmiany związane z symulacją wprowadzenia EZŁ charakteryzowano za pomocą średniej geometrycznej, mniej podatnej na zmiany nielicznych wysokich wartości zmiennej objaśnianej.

Wykresy ważności zmiennych wykonano w programie R za pomocą pakietu „ggplot2” (36).

Wyniki i dyskusja

a. TOC – zawartość węgla organicznego w glebie

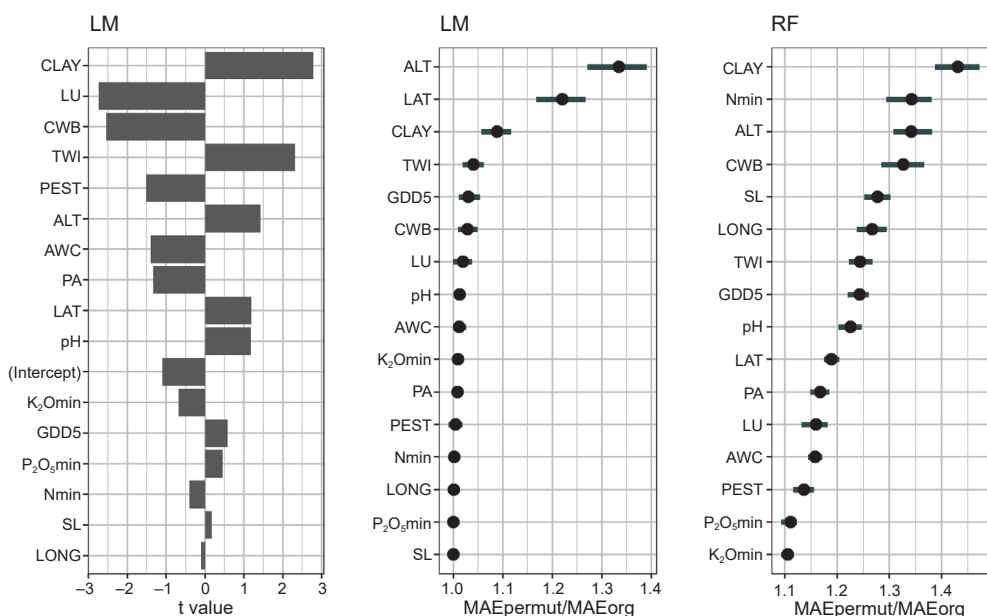
Wskutek realizacji scenariusza EZŁ średnia geometryczna TOC zmieni się wg modelu regresji liniowej z 1,15% na 1,16% (o 0,93%), a według modelu lasów losowych z 1,16% na 1,17% (o 0,75%). Zarówno model regresji liniowej, jak i las losowy mają niewielką zdolność predykcyjną, a ich reszty wykazują istotną autokorelację (tab. 2). Wśród zmiennych w obu modelach rozpoznanych jako istotne są (rys. 10): zawartość iltu CLAY i wysokość n.p.m. ALT. Las losowy silniej wyróżnił znaczenie nawożenia azotem, co jest przyczyną słabszej reakcji na scenariusz EZŁ.

Tabela 2

Porównanie jakości predykcyjnej modeli dla logarytmu zawartości węgla organicznego ln(TOC)

	Regresja liniowa (LM)			Las losowy (RF)		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
Org.	0,45	0,32	0,123	0,47	0,33	0,065
LOO	0,48	0,34	0,041	0,47	0,33	0,069
CVB	0,49	0,36	0,063	0,48	0,36	0,051
Moran's	I = 0,135 p-value = 0,05			I = 0,021 p-value = 0,38		

Źródło: opracowanie własne



Rys. 10. Ważność zmiennych objaśniających w modelach ln(TOC) wg: i) współczynników t dla regresji (po lewej); ii) metody permutacyjnej dla regresji (środek) oraz iii) metody permutacyjnej dla lasu losowego (po prawej)

Źródło: opracowanie własne

b. P₂O₅ – zasobność gleb w przyswajalny fosfor

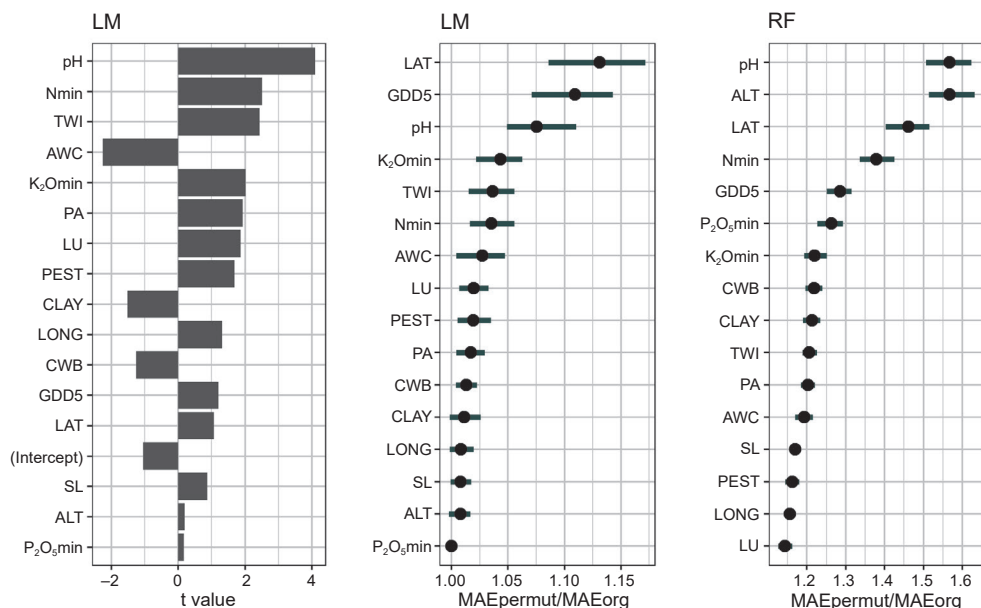
Wskutek realizacji scenariusza EZŁ średnia geometryczna P₂O₅ zmieni się według modelu regresji liniowej z 10,0 na 9,8 mg·100 g⁻¹ (o -1,0%), a według modelu lasów losowych z 9,9 na 9,7 mg·100 g⁻¹ (o -1,9%). Oba modele w testach krzyżowych wyjaśniają około 20% zmienności ln(P₂O₅), a stopień autokorelacji reszt jest istotny lecz dość niski (tab. 3). Wśród najważniejszych wspólnych dla obu modeli zmiennych znajduje się zmienna „sterująca” pH (rys. 11).

Tabela 3

Porównanie jakości predykcyjnej modeli dla logarytmu zawartości przyswajalnego fosforu $\ln(P_2O_5)$

	Regresja liniowa (LM)			Las losowy (RF)		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
Org.	0,57	0,44	0,414	0,61	0,46	0,329
LOO	0,60	0,47	0,338	0,61	0,47	0,329
CVB	0,58	0,46	0,201	0,62	0,49	0,155
Moran's	I = 0,027 p-value = 0,36			I = 0,028 p-value = 0,35		

Źródło: opracowanie własne

Rys. 11. Ważność zmiennych objaśniających w modelach $\ln(P_2O_5)$ wg: i) współczynników t dla regresji (po lewej); ii) metody permutacyjnej dla regresji (środek) oraz iii) metody permutacyjnej dla lasu losowego (po prawej)

Źródło: opracowanie własne

c. K₂O – zasobność gleb w przyswajalny potas

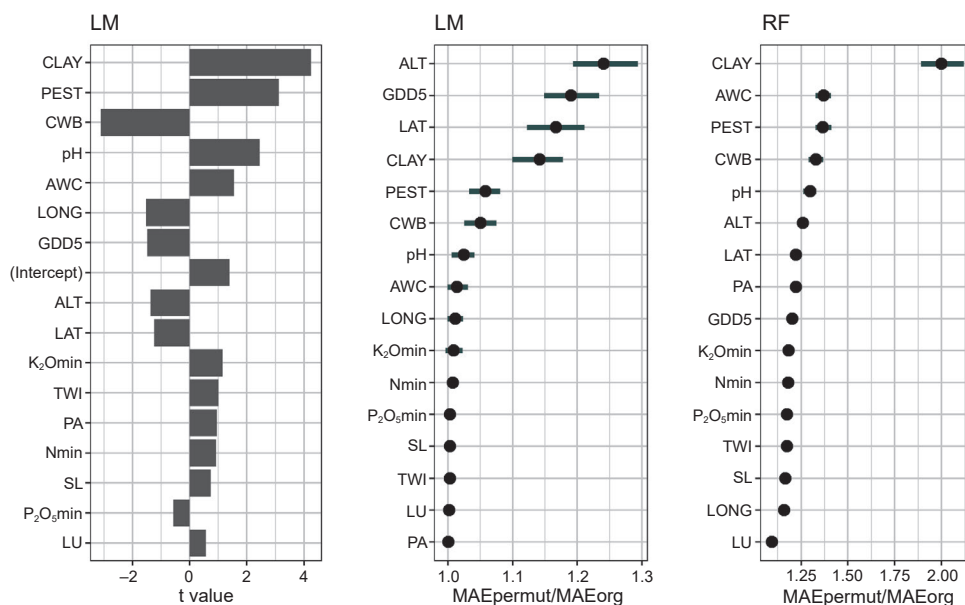
Wskutek realizacji scenariusza EZŁ średnia geometryczna K₂O zmieni się według modelu regresji liniowej z 11,2 na 11,1 mg · 100 g⁻¹ (o -0,93%), a według modelu lasów losowych z 11,1 na 11,2 mg · 100 g⁻¹ (o 0,85%). W testach krzyżowych model regresji wyjaśnia około 27%, a las losowy około 35% zmienności $\ln(K_2O)$, przy czym reszty tego modelu nie wykazują autokorelacji (tab. 4). Pomimo rozbieżności w rankingach (rys. 12) podobnie istotna jest zawartość łu CLAY, co znajduje potwierdzenie w rozkładzie tej cechy na mapach (23).

Tabela 4

Porównanie jakości predykcyjnej modeli dla logarytmu zawartości przyswajalnego potasu $\ln(K_2O)$

	Regresja liniowa (LM)			Las losowy (RF)		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
Org.	0,53	0,41	0,342	0,53	0,41	0,329
LOO	0,56	0,44	0,266	0,53	0,41	0,339
CVB	0,58	0,46	0,278	0,55	0,44	0,378
Moran's	I = 0,051 p-value = 0,26			I = 0,008 p-value = 0,45		

Źródło: opracowanie własne



Rys. 12. Ważność zmiennych objaśniających w modelach $\ln(K_2O)$ wg: i) współczynników t dla regresji (po lewej); ii) metody permutacyjnej dla regresji (środek) oraz iii) metody permutacyjnej dla lasu losowego (po prawej)

Źródło: Opracowanie własne

d. Mg – zasobność gleb w przyswajalny magnez

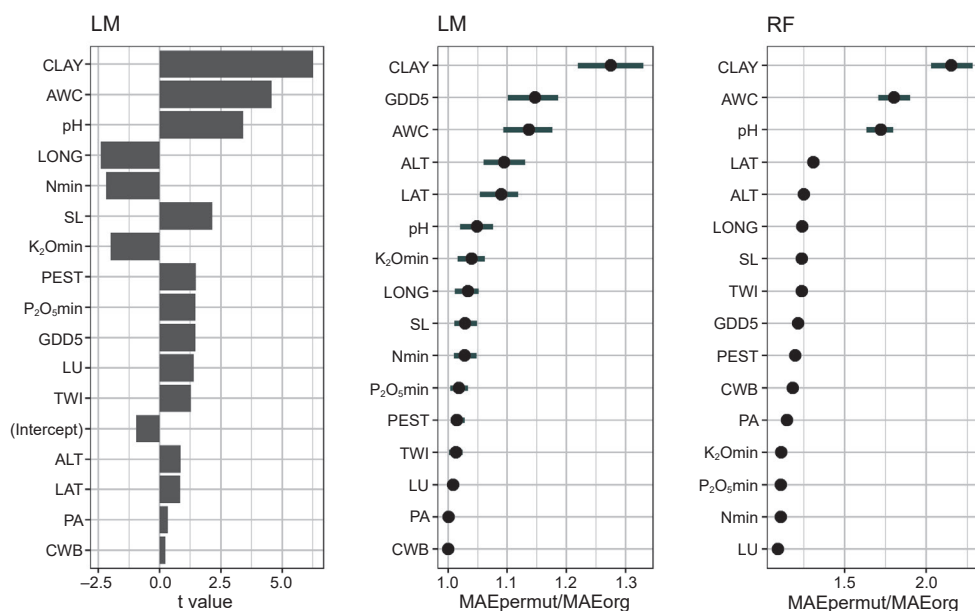
Wskutek realizacji scenariusza EZŁ średnia geometryczna Mg zmieni się według modelu regresji liniowej z 5,0 na 5,1 $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (o 1,8%), a według modelu lasów losowych z 4,9 na 5,1 $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (o 4,3%). Oba modele wyjaśniają około połowy zmienności $\ln(\text{Mg})$ (tab. 5) i zidentyfikowały, że najważniejsze zmienne (rys. 13) to frakcja iltu CLAY, pojemność wodna profilu glebowego AWC i odczyn pH. Wpływ frakcji ilastej na rozkład zmienności Mg jest widoczny na mapach (23). Oba modele

mają ponadto bardzo zgodne pozytywne reakcje na wprowadzenie EZŁ związane z wysoką podobną pozycją zmiennej sterującej pH.

Tabela 5
Porównanie jakości predykcyjnej modeli dla logarytmu zawartości przyswajalnego magnezu $\ln(\text{Mg})$

	Regresja liniowa (LM)			Las losowy (RF)		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
Org.	0,51	0,41	0,491	0,51	0,41	0,507
LOO	0,55	0,44	0,424	0,51	0,41	0,516
CVB	0,59	0,47	0,396	0,54	0,44	0,489
Moran's	I = 0,069 p-value = 0,19			I = 0,08 p-value = 0,16		

Źródło: opracowanie własne



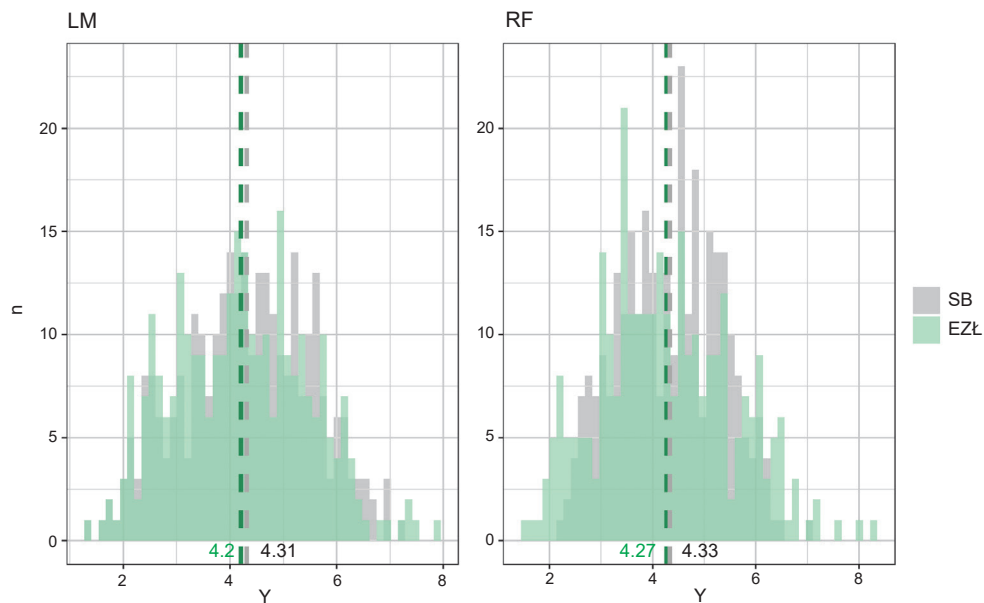
Rys.13. Ważność zmiennych objaśniających w modelach $\ln(\text{Mg})$ wg: i) współczynników t dla regresji (po lewej); ii) metody permutacyjnej dla regresji (środek) oraz iii) metody permutacyjnej dla lasu losowego (po prawej)

Źródło: opracowanie własne

e. Y – plon zbóż podstawowych

Wskutek realizacji scenariusza EZŁ średnia arytmetyczna plonu zbóż podstawowych Y (rys. 14) zmieni się według modelu regresji liniowej z 4,31 na 4,20 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (o $-2,4\%$), a według modelu lasów losowych z 4,33 na 4,27 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (o $-1,5\%$). Oba

modele wyjaśniają około 40% zmienności plonów (tab. 6) i wspólnie identyfikują jako najważniejsze zmienne – poziom stosowania środków ochrony roślin PEST i poziom nawożenia azotem Nmin – główną zmienną „sterującą” odpowiedzialną za ich ujemną reakcję na scenariusz EZŁ (rys. 15).



Rys. 14. Zmiana rozkładu plonów Y pomiędzy scenariuszem bazowym (histogram szary) a scenariuszem realizacji EZŁ (histogram zielony) przewidywana przez modele: i) regresji liniowej (po lewej); ii) lasu losowego (po prawej)

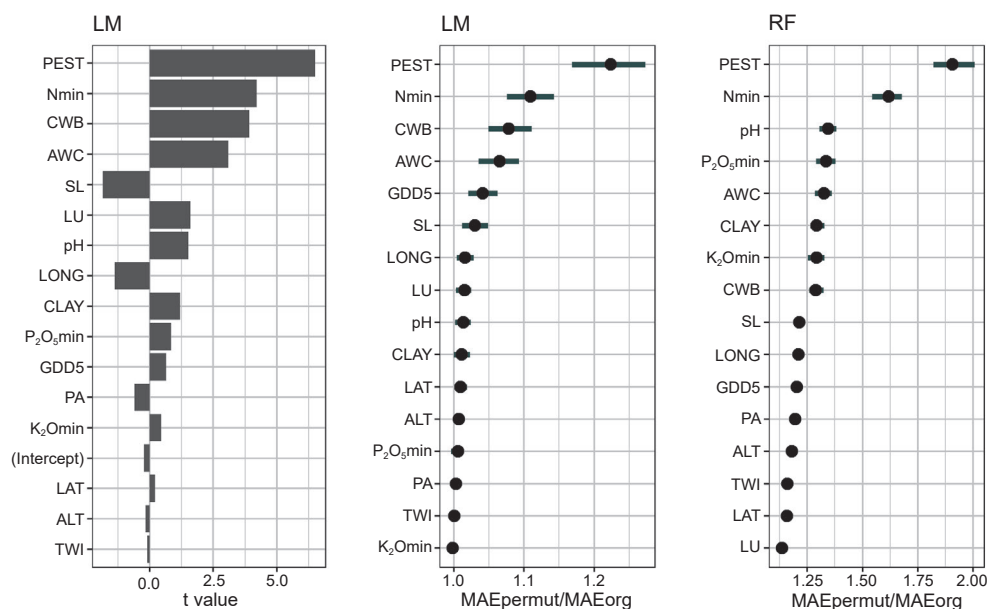
Źródło: opracowanie własne

Tabela 6

Porównanie jakości predykcyjnej modeli dla plonów zbóż podstawowych Y

	Regresja liniowa (LM)			Las losowy (RF)		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
Org.	1,26	0,98	0,484	1,34	1,03	0,409
LOO	1,34	1,04	0,419	1,34	1,04	0,417
CVB	1,44	1,11	0,399	1,43	1,12	0,417
Moran's	I = 0,13 p-value = 0			I = 0,151 p-value = 0		

Źródło: opracowanie własne



Rys. 15. Ważność zmiennych objaśniających w modelach plonu Y wg: i) współczynników t dla regresji (po lewej); ii) metody permutacyjnej dla regresji (środek) oraz iii) metody permutacyjnej dla lasu losowego (po prawej)

Źródło: opracowanie własne

W przypadku obu rozpatrywanych modeli o zasobności gleb w przyswajalny potas, fosfor i magnez w największym stopniu decydowała zmienna sterująca – odczyn gleb pH. O zmienności plonu dla obu modeli w największym stopniu decydowały poziomy stosowania pestycydów i PEST oraz nawożenia Nmin. Rola wymienionych czynników jest w przypadku modelowanych właściwości gleb i plonu dobrze znana i zgodna z oczekiwaniami.

Pomimo że model regresji liniowej ma ograniczoną przydatność w modelowaniu zależności nieliniowych, to w przedstawionej analizie przewaga modelu lasów losowych nie była duża, a w przypadku modeli dla materii organicznej i przyswajalnego fosforu model liniowy wykazywał niewielką przewagę predykcijną. Nieliniowości w analizowanych procesach z pewnością są obecne np. w przypadku reakcji plonów zbóż na zawartość frakcji ilastej CLAY w glebie, gdzie plony są niższe zarówno dla gleb bardzo lekkich, jak i bardzo ciężkich, czy też w relacji pomiędzy zastosowaną dawką nawozów Nmin a plonem, gdzie przy wysokich dawkach w doświadczeniach nawozowych dochodzi do wysycenia reakcji na wzrost dawek zgodnie z prawem malejących przychodów. Niewielki wpływ nieliniowości na zróżnicowanie jakości przewidywań testowanych modeli prawdopodobnie wiąże się z: i) ograniczonym, ekonomicznie uwarunkowanym zakresem rzeczywistego wykorzystania gleb o skrajnych właściwościach (np. bardzo lekkich czy bardzo ciężkich); ii) rozrzutem

wyników pomiarów właściwości gleb, związanym z ich dużą zmiennością lokalną (efekt samorodka); iii) obserwacją plonów w gospodarstwach prowadzących produkcję rynkową, a więc optymalizujących produkcję, co sprawia, że obserwowana zależność pomiędzy dawką czynnika produkcji a plonem nie jest efektem przypadkowych zmian poziomu nawożenia w poszczególnych gospodarstwach, lecz raczej zróżnicowania optymalnego nawożenia pomiędzy gospodarstwami położonymi w różnych warunkach glebowych (im lepsze gleby, tym wyższe nawożenie); iv) zbyt małą bazą danych na potrzeby poprawnej identyfikacji zależności nieliniowych przez typowe metody uczenia maszynowego, jak lasy losowe.

Podsumowanie

Prognozy wpływu wprowadzenia zasad EZŁ na właściwości gleb i plony zbóż podstawowych w Polsce wykonane za pomocą dwu modeli uczenia maszynowego: regresji liniowej i lasów losowych posiadały zadowalającą zdolność predykcyjną w odniesieniu do pozytywnego wpływu EZŁ na poziom przyswajalnego magnezu w glebach (wzrost o 2–4%) oraz lekkiego negatywnego oddziaływania na plony (spadek o 1,5–2,4%). Model lasów losowych wykazywał bardzo niewielką przewagę predykcyjną nad prostym modelem regresji liniowej. Z wyjątkiem modeli dla przyswajalnego potasu, przewidywania obu modeli były zgodne zarówno co do najważniejszych zmiennych, jak i przewidywanego kierunku zmiany. Niewielkie bezwzględne zmiany przewidywanych cech gleby i plonów w stosunku do scenariusza bazowego należy wiązać z przyjętym założeniem o niewielkim wymuszeniu w scenariuszu EZŁ redukcji poziomu stosowanych pestycydów i kompensacją spadków plonów powodowanych ograniczeniem nawożenia poprzez efekty wapnowania gleb.

Literatura

1. Behrens T., Schmidt K., Viscarra Rossel R.A., Gries P., Scholten T., MacMillan R.A.: Spatial modelling with Euclidean distance fields and machine learning. *European Journal of Soil Science*, 2018, **69**: 757-770. <https://doi.org/10.1111/ejss.12687>
2. Bieček P., Burzykowski T.: *Explanatory Model Analysis: Explore, Explain and Examine Predictive Models*, 1st ed., Chapman and Hall/CRC, 2021, p. 324. <https://doi.org/10.1201/9780429027192> ; <https://pbiecek.github.io/ema/>
3. Breiman L.: Statistical modeling: The two cultures. *Statistical Science*, 2001, **16(3)**: 199-215. <http://www.jstor.org/stable/2676681>.
4. Doroszewski A., Jadczyż 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, 2012, t.12, **2(38)**: 77-91.
5. Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej, 14 lutego 2020, poz. 243. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lutego 2020 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu”. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX:71991L0676POL_281852

6. Fletcher R., Fortin M.J.: Spatial ecology and conservation modeling: Applications with R. Springer Nature Switzerland AG, 2018. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-01989-1>
7. Greener J.G., Kandathil S.M., Moffat L. et al.: A guide to machine learning for biologists. Nature Reviews Molecular Cell Biology, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41580-021-00407-0>
8. GUGiK: Numeryczny model terenu dla Polski o rozdzielczości 5 m.
9. GUS: Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2020, Warszawa, 2020. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-rolnictwa-2020,6,14.html>
10. GUS: Rolnictwo w 2019 r., Warszawa, 2020. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rolnictwo-lesnictwo/rolnictwo/rolnictwo-w-2019-roku,3,16.html>
11. Hengl T., Nussbaum M., Wright M.N., Heuvelink G.B.M., Gräler B.: Random forest as a generic framework for predictive modeling of spatial and spatio-temporal variables. PeerJ, 2018. <https://doi.org/10.7717/peerj.5518>
12. IUNG, GIOŚ: Monitoring chemizmu gleb ornych Polski, 2015. https://www.gios.gov.pl/chemizm_gleb/
13. IUNG: ONW – Płatności dla obszarów z ograniczeniami naturalnymi lub innymi szczególnymi ograniczeniami, 2017, <http://onw.iung.pulawy.pl/biofizyczne/klimat>
14. IUNG: SMSR – System Monitoringu Suszy Rolniczej, Mapa polowej pojemności wodnej gleb w strefie korzeniowej, 2019. <https://susza.iung.pulawy.pl/>
15. IUNG: SMSR – System Monitoringu Suszy Rolniczej, mapy KBW, 2017 i 2018. <https://susza.iung.pulawy.pl/>
16. Jeong J.H., Resop J.P., Mueller N.D., Fleisher D.H., Yun K., Butler E.E., et al.: Random Forests for Global and Regional Crop Yield Predictions. PLoS ONE, 2016, 11(6). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4892571>
17. KE: Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Europejski Zielony Ład, Bruksela, 2019, COM(2019) 640 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640>
18. KE: Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Strategia „od pola do stołu” na rzecz sprawiedliwego, zdrowego i przyjaznego dla środowiska systemu żywnościowego, Bruksela, 2020, COM(2020) 381 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0381>
19. Kopecký M., Macek M., Wild J.: Topographic Wetness Index calculation guidelines based on measured soil moisture and plant species composition, Science of The Total Environment, 2021, 757. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143785>
20. Kuhn M.: Building predictive models in R using the caret package. Journal of Statistical Software, 2008, 28(5): 1-26. <http://dx.doi.org/10.18637/jss.v028.i05>
21. Liaw A., Wiener M.: Classification and Regression by randomForest. R News 2002, 2(3): 18-22. <https://cran.microsoft.com/snapshot/2018-03-27/web/packages/randomForest/randomForest.pdf>
22. Lucas T.C.D.: A translucent box: interpretable machine learning in ecology. Ecological Monographs, 2020, 90(4). <https://doi.org/10.1002/ecm.1422>
23. Łopatka A., Siebielec G., Smreczak B.: Zasobność gleb w podstawowe składniki oraz zanieczyszczenie gleb i wód azotanami. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2020, 64(18): 77-90. <https://doi.org/10.26114/sir.iung.2020.64.05>
24. Molnar C.: Interpretable machine learning. A Guide for Making Black Box Models Explainable, 2019. <https://christophm.github.io/interpretable-ml-book/>
25. MRiRW: Plan Strategiczny dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023-2027, Warszawa, lipiec 2021. <https://www.gov.pl/attachment/621ffbec-72ea-4699-8b23-f81cd52971c6>
26. Oenema O., Brentrup F. et al: Nitrogen Use Efficiency (NUE) – an indicator for the utilization of nitrogen in agriculture and food systems. EU Nitrogen Expert Panel, 2015.
27. Partridge T.F., Winter M.W., Liu L., Kendall A.D., Basso B.: Mid-20th century warming hole boosts US maize yields. Environmental Research Letters 2019, 14: 114008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab422b>
28. Ploton P., Mortier F., Réjou-Méchain M. et al.: Spatial validation reveals poor predictive performance of large-scale ecological mapping models. Nature Communications, 2020, 11: 4540. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18321-y>

29. R Core Team, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013. <http://www.R-project.org/>.
30. Roberts D.R., Bahn V., Ciuti S., Boyce M.S., Elith J., Guillera-Arroita G., Hauenstein S., Lahoz-Monfort J.J., Schröder B., Thuiller W., Warton D.I., Wintle B.A., Hartig F., Dormann C.F.: Cross-validation strategies for data with temporal, spatial, hierarchical, or phylogenetic structure. *Ecography*, 2017, **40**: 913-929. <https://doi.org/10.1111/ecog.02881>
31. Sarker I.H.: Machine learning: algorithms, real-world applications and research directions. *SN Computer Science*, 2021, **2**: 160. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00592-x>
32. Smreczak B.: Program Wieloletni IUNG-PIB na lata 2016-2020; Zadanie 1.3: Monitorowanie różnych parametrów środowiska glebowego dla właściwej oceny WPR, 2017. http://pw.iung.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=182Itemid%3D99&Itemid=99
33. Ślusarczyk E.: Określenie retencji użytecznej gleb mineralnych dla prognozowania i projektowania nawodnień. *Melioracje Rolne*, 1979, **3(53)**.
34. Tyrallis H., Papacharalampous G., Langousis A.: A brief review of random forests for water scientists and practitioners and their recent history in water resources. *Water*, 2019, **11(5)**: 910. <https://doi.org/10.3390/w11050910>
35. Wadoux A.C., Samuel-Rosa A., Poggio L., Mulder V.L.: A note on knowledge discovery and machine learning in digital soil mapping. *European Journal of Soil Science*, 2020, **71**: 133-136. <https://doi.org/10.1111/ejss.12909>
36. Wickham H.: *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2016. ISBN 978-3-319-24277-4, <https://ggplot2.tidyverse.org>.
37. Zhao Q., Hastie T.: Causal Interpretations of Black-Box Models, *Journal of Business & Economic Statistics*, 2021, **39(1)**: 272-281. <https://doi.org/10.1080/07350015.2019.1624293>
38. Zhogolev A., Savin I.: Soil Mapping Based on Globally Optimal Decision Trees and Digital Imitations of Traditional Approaches. *ISPRS International Journal Geo-Information*, 2020, **9(11)**: 664. <https://doi.org/10.3390/ijgi9110664>

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
Bożena Smreczak	0000-0001-8972-8636
Piotr Koza	0000-0002-0243-7631
Beata Suszek-Łopatka	0000-0002-8398-9912

Andrzej Madej, Stanisław Krasowicz

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

UWARUNKOWANIA KONKURENCYJNOŚCI ROLNICTWA LUBELSZCZYZNY*

Słowa kluczowe: konkurencyjność czynnikowa (potencjalna), konkurencyjność wynikowa (rzeczywista), rolnictwo, uwarunkowania, Lubelszczyzna, zróżnicowanie

Wstęp

Konkurencyjność jest zjawiskiem wieloaspektowym i złożonym. Problemem podstawowym jest brak powszechnie akceptowanej definicji konkurencyjności. Zjawisko konkurencyjności w literaturze ekonomicznej jest często badane, analizowane i oceniane na różnych poziomach funkcjonowania i rozwoju (2). Już pod koniec XX wieku liczba definicji konkurencyjności przekraczała 400 (11).

Pojęcie konkurencyjności może odnosić się do różnych obiektów, podmiotów i grup, przez co wyodrębnić można określone jej poziomy – poziom mikro-mikro (na poziomie towarów i usług), mikro (na poziomie przedsiębiorstw), mezo (na poziomie branż i gałęzi, działów gospodarki czy regionów), makro (na poziomie gospodarki narodowej), mega (na poziomie gospodarek międzynarodowych) i meta (na poziomie przyszłości) (1).

Analiza konkurencyjności rolnictwa wpisuje się w badania prowadzone na poziomie sektorowym (poziom mezo). Pojęcia z zakresu konkurencyjności na tym poziomie analizy są o wiele bardziej sprecyzowane niż w przypadku badań prowadzonych w odniesieniu do poszczególnych gospodarek narodowych. Jednocześnie analizy dotyczące konkurencyjności rolnictwa różnią się zasadniczo od prowadzonych w odniesieniu do innych sektorów gospodarki narodowej. Decydują o tym następujące czynniki: ścisłe powiązania tego sektora z przemysłem spożywczym, mała mobilność zasobów produkcyjnych, duża zależność czynników produkcyjnych od warunków przyrodniczych, ograniczone możliwości konkurowania produktów rolnictwa na

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.2 pt. „Gleby użytkowane rolniczo” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

rynku krajowym i zagranicznym. Specyfika sektora rolnego powoduje, że różna niż w innych sektorach jest ranga i znaczenie czynników wyznaczających zarówno konkurencyjność tego działu gospodarki narodowej, jak i podmiotów funkcjonujących w jego ramach (9).

Można wskazać za OECD (Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju), że konkurencyjność może być rozumiana jako zdolność przedsiębiorstw, przemysłów, regionów, krajów i ponadnarodowych ugrupowań do sprostania międzynarodowej konkurencji oraz do zapewnienia wysokiej stopy zwrotu od zastosowanych czynników produkcji, a także relatywnie wysokiego poziomu zatrudnienia (2).

Poziom konkurencyjności danej gospodarki można analizować m.in. poprzez określenie tzw. pozycji konkurencyjnej i zdolności konkurencyjnej kraju. Biernowski (13) pozycję konkurencyjną, zwaną przez niego wynikową, określił jako osiągnięty przez dany kraj poziom rozwoju gospodarczego, a zdolność konkurencyjną jako wszystko to, co decyduje o możliwościach konkurencji na rynkach zagranicznych i osiągnięciu przez daną gospodarkę pozycji konkurencyjnej. Na tej podstawie wyróżnia się trzy podstawowe typy definicji konkurencyjności krajów (13):

- **wynikowe**, które uwzględniają rezultaty osiągnięte przez gospodarkę danego kraju, w szczególności poziom dochodu narodowego oraz udział w handlu światowym w wymiarze jakościowym i ilościowym;
- **czynnikowe**, które skupiają się na ocenie źródeł konkurencyjności gospodarki dotyczących m.in. wielkości i struktury zasobów produkcji oraz efektywności ich wykorzystania, decydujących o przyszłej pozycji konkurencyjnej kraju;
- **mieszane**, które łączą elementy czynnikowo-wynikowe (2).

Celem opracowania jest prezentacja uwarunkowań przyrodniczych i organizacyjno-ekonomicznych, wpływających na konkurencyjność i wewnętrzne zróżnicowanie rolnictwa Lubelszczyzny.

Material i metodyka badań

W badaniach przyjęto założenie, że uwarunkowania przyrodnicze i postęp biologiczny są wyznacznikami konkurencyjności czynnikowej (potencjalnej), ale o konkurencyjności wynikowej (rzeczywistej) regionu na tle Polski decydują uwarunkowania organizacyjno-ekonomiczne. Za istotny czynnik decydujący o konkurencyjności rolnictwa Lubelszczyzny uznano zróżnicowanie warunków przyrodniczych i organizacyjno-ekonomicznych.

Rozważania przeprowadzono, uwzględniając wybrane wskaźniki charakteryzujące uwarunkowania przyrodnicze i organizacyjno-ekonomiczne opisujące konkurencyjność czynnikową (potencjalną) województwa lubelskiego w porównaniu ze średnimi wskaźnikami dla kraju. Podstawowe źródło informacji stanowiły dane statystyczne GUS (3,4,12,14,15,17), wyniki badań IUNG-PIB, a także poglądy różnych autorów przedstawione w literaturze. Dokonana analiza dotyczyła produkcji rolnej, jednak

główną uwagę zwrócono w niej na produkcję roślinną, która ma charakter pierwotny, surowcowy.

W pracy przyjęto założenie, że czynniki przyrodnicze łącznie z dokonującym się postępow biologiznym są podstawowymi wyznacznikami produkcji rolniczej, natomiast warunki organizacyjno-ekonomiczne decydują o stopniu ich wykorzystania (7). Założono ponadto, że regionalne zróżnicowanie warunków do produkcji rolniczej w kraju wpływa na kierunki podejmowanych badań naukowych i główne kierunki działań doradczych, przyczyniających się do poprawy konkurencyjności produkcji rolniczej w różnych regionach kraju (10).

Do przedstawienia danych w zakresie warunków przyrodniczych produkcji rolniczej woj. lubelskiego na tle kraju i innych województw wykorzystano wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej opracowany w IUNG-PIB (15), uwzględniający jakość i przydatność rolniczą gleb, agroklimat, rzeźbę terenu oraz warunki wodne. W powyższym układzie regionalnym uwzględniono także uwarunkowania agrotechniczne wpływające na wykorzystanie potencjału rolniczej przestrzeni produkcyjnej, tj.: udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych w %, zużycie nawozów mineralnych w $\text{kg NPK}\cdot\text{ha}^{-1}$ UR, zużycie nawozów wapniowych w $\text{kg CaO}\cdot\text{ha}^{-1}$ UR. Natomiast regionalne zróżnicowanie warunków organizacyjno-ekonomicznych przedstawiono za pomocą: średniej powierzchni gospodarstwa w ha UR w grupie gospodarstw powyżej 1 ha UR, udziału gospodarstw o standardowej produkcji powyżej 15 tys. € oraz liczby pracujących w rolnictwie w przeliczeniu na 100 ha UR.

Wybrane cechy charakteryzują specyfikę rolnictwa woj. lubelskiego na tle kraju i innych województw, wskazując jednocześnie czynniki kształtujące konkurencyjność jego produkcji rolniczej. Dane te przedstawiono w postaci tabelarycznej oraz map.

Analizą objęto dane dotyczące woj. lubelskiego na tle kraju, w formie tabelarycznej i wykresów. Uwzględniono następujące grupy wskaźników:

- powierzchnia i ludność;
- liczba i struktura gospodarstw rolnych;
- udział skupu w produkcji rolniczej;
- struktura użytkowania gruntów i ich przydatność rolnicza;
- struktura zasiewów wybranych roślin uprawnych oraz ich udział w krajowej produkcji;
- plony zbóż podstawowych oraz wybranych roślin uprawnych;
- struktura pogłowia zwierząt i wybrane wskaźniki produkcji zwierzęcej;
- wartość skupu produktów rolnych.

Wyniki

O konkurencyjności i znaczeniu rolnictwa w ujęciu regionalnym decyduje wiele czynników będących pochodną warunków przyrodniczych i organizacyjno-ekonomicznych. Główne z nich, według województw, przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Regionalne zróżnicowanie polskiego rolnictwa

Województwo	Wskaźnik wrpp (pkt)	Średnia pow. UR w gosp. pow. 1 ha (ha) 2019	Udział gosp. powyżej 15 tys. € (%) 2016	Pracujący w rolnictwie na 100 ha UR 2018↑	Nawożenie mineralne (kg NPK·ha ⁻¹ UR)		Udział gleb o odczynie kwaśnym i bardzo kwaśnym (%) 2015–2018↓	Zużycie nawozów wapniowych CaO (kg·ha ⁻¹ UR) 2017/18↑
					2010–2013	2017/18		
Dolnośląskie	74,9	16,4	22,1	9,8	165,1	174,5	28	86,4
Kujawsko-pomorskie	71,0	16,1	42,2	9,6	172,9	190,5	24	88,6
Lubelskie	74,1	8,5	17,0	21,6	127,1	163,3	40	68,6
Lubuskie	62,3	19,7	24,7	8,5	140,1	112,8	37	41,2
Łódzkie	61,9	7,9	21,9	17,8	145,2	132,7	55	31,3↓
Małopolskie	69,3	4,2	6,8	48,6	74,3	82,3	53↑	34,4
Mazowieckie	59,9	9,2	26,4	13,9↓	103,3	128,9	52	46,4
Opolskie	81,6	19,7	31,9	9,8	220,1	202,8	17	118,6
Podkarpackie	70,4	4,7	5,1	46,6	71,7	85,0	58	40,3
Podlaskie	55,0	14,1	32,2	11,6	99,3	124,0	59↑	21,4
Pomorskie	66,2	19,3	33,0	8,3	147,1	152,6	39	74,5
Śląskie	64,2	6,9	13,2	26,6	126,9	124,9	35	57,9
Świętokrzyskie	69,3	5,6	14,2	31,4	107,9	106,0	34	35,9
Warmińsko-mazurskie	66,0	22,0	40,6	6,9	115,7	113,6	37	37,2
Wielkopolskie	64,8	14,6	36,5	12,0	164,1	170,4	33	60,8
Zachodniopomorskie	67,5	29,6	30,5	5,4	167,0	115,5	35	44,0↓
Polska	66,6	10,6	22,1	15,9	134,4	141,6	37	55,1

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (3, 14, 17) oraz Stuczyński i in., 2000 (16)

Analiza gospodarstw rolnych w kraju dokonana na podstawie średniej powierzchni UR w ha wskazuje na występowanie dwóch grup województw, różniących się zdecydowanie wartością tego wskaźnika (tab. 1). Pierwsza grupa to województwa: podlaskie, warmińsko-mazurskie, pomorskie, zachodniopomorskie, lubuskie, wielkopolskie, dolnośląskie, opolskie. Obok średniej wielkości gospodarstwa przewyższającej wartość tego wskaźnika średnio dla Polski, charakteryzowały się one także zdecydowanie mniejszym wskaźnikiem pracujących w rolnictwie. Natomiast województwa: małopolskie, podkarpackie, świętokrzyskie, śląskie, łódzkie, lubelskie i mazowieckie charakteryzowały się średnią powierzchnią gospodarstwa poniżej przeciętnej dla kraju, a zatrudnienie, za wyjątkiem mazowieckiego, przewyższało w nich wartość średnią wskaźnika dla Polski. Gleby woj. lubelskiego cechowały się wyższym niż przeciętnie w kraju udziałem gleb kwaśnych i bardzo kwaśnych (40,0%), mimo że zużycie nawozów wapniowych było tu na poziomie wyższym niż przeciętnie w kraju (68,6 kg CaO·ha⁻¹ UR). Z kolei wskaźnik udziału gospodarstw o wielkości ekonomicznej powyżej 15 tys. € nie przewyższał w tym województwie wartości przeciętnej dla kraju, podobnie jak w przypadku wskaźnika średniej wysokości nawożenia mineralnego obliczonego dla lat 2010–2013 (127,1 kg NPK·ha⁻¹ UR). W roku gospodarczym 2017/2018 wskaźnik ten przekroczył średnią dla kraju.

Województwo lubelskie wyróżniało się pod względem wskaźnika waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (74,1 pkt), charakteryzującego uwarunkowania przyrodnicze, zajmując miejsce w kraju zaraz za województwami opolskim i dolnośląskim. Na tle kraju odznaczały je przede wszystkim jakość i przydatność rolnicza gleb (55,8 pkt), ale także wartość pozostałych wskaźników (akroklimatu, rzeźby terenu i warunków wodnych) (tab. 2). W samym województwie lubelskim wartość wskaźnika wrpp podlegała znacznym wahaniom (rys. 1). Najmniej korzystnymi warunkami agro-klimatycznymi charakteryzował się położony w północno-wschodniej części województwa powiat włodawski (53,7 pkt), a najbardziej korzystane warunki wyróżniały powiaty lubelski (100 pkt) oraz hrubieszowski (99,2 pkt), położone w centralnej i południowo-wschodniej części województwa.

Tabela 2

Ocena przydatności rolniczej i struktura użytków rolnych w 2018 r.

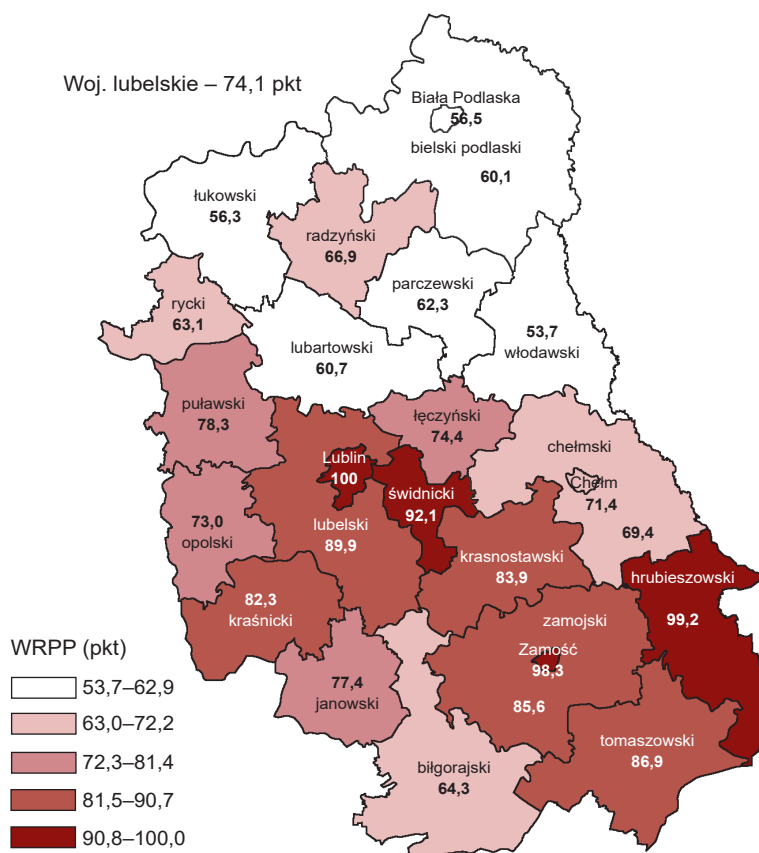
Wyszczególnienie	Woj. lubelskie	Polska
Wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej wg IUNG (pkt)	74,1	66,6
jakość i przydatność rolnicza gleb	55,8	49,5
agroklimat	10,6	9,9
rzeźba terenu	4,0	3,9
warunki wodne	3,8	3,3
Struktura UR* (%)		

cd. tab. 2

Wyszczególnienie	Woj. lubelskie	Polska
grunty orne (zasiewy + ogrody przydomowe)	78,6	74,7
TUZ	15,3	21,7
uprawy trwałe (w tym sady)	5,0	2,4
grunty ugorowane	1,1	1,2

*w dobrej kulturze

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (14)

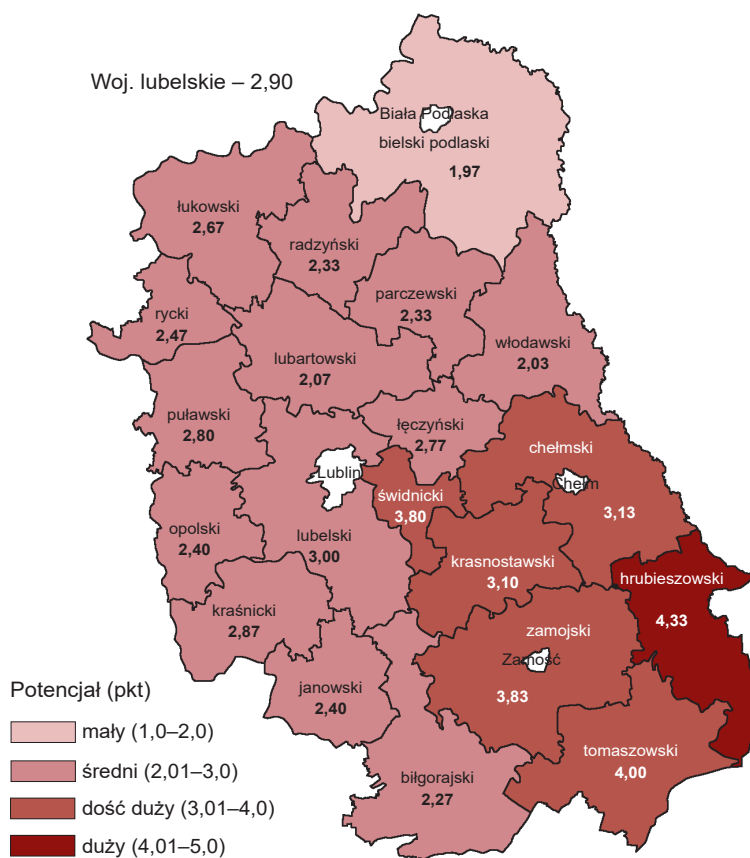


Rys. 1. Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej w woj. lubelskim wg IUNG-PIB

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IUNG-PIB (16)

Harasim (5) na podstawie punktowej oceny wybranych wskaźników w zakresie trzech kryteriów: jakości przestrzeni rolniczej, pokrycia gleby roślinnością oraz stanu agrochemicznego gleb, wydzielił subregiony zróżnicowane pod względem poziomu

potencjału agroekologicznego rolnictwa woj. lubelskiego (rys. 2). Za najkorzystniejsze do prowadzenia produkcji rolniczej przyjęto powiaty (w kolejności): hrubieszowski, tomaszowski, zamojski, świdnicki i chełmski. Natomiast stan i zasoby środowiska przyrodniczego zostały uznane przez autora za czynniki konkurencyjności rolnictwa na poziomie regionalnym i ważne kryterium oceny zrównoważonego gospodarowania.



Rys. 2. Przestrzenne zróżnicowanie poziomu potencjału agroekologicznego rolnictwa woj. lubelskiego

Źródło: Harasim, 2014 (5)

Wyodrębnione w rolnictwie polskim obszary specyficzne (tab. 3), na których prowadzenie produkcji rolniczej jest utrudnione, mogą wpływać na obniżenie konkurencyjności produkcji rolniczej gospodarstw funkcjonujących w ich granicach. Jako kryterium wydzielenia takich obszarów przyjęto udziały występowania terenów

objętych ochroną przyrody (np. Natura 2000), potencjalnie zalewowych (znajdujących się w dolinach rzek), podmiejskich, problemowych (OPR¹) oraz obszarów górskich i podgórskich. W województwie lubelskim ogólny udział obszarów specyficznych był wyższy niż średnio w Polsce i wynosił 52,8%, a dominowały w nich obszary problemowe (41,6%) charakteryzujące się występowaniem ograniczeń dla produkcji rolnej oraz objęte ochroną przyrody (20,8%).

Tabela 3

Udział poszczególnych typów obszarów specyficznych w woj. lubelskim na tle Polski

Wyszczególnienie	Woj. lubelskie	Polska
Obszary specyficzne:		
Objęte ochroną przyrody	20,8	25,2
Potencjalnie zalewowe	3,0	6,6
Podmiejskie	2,8	5,4
Problemowe (OPR-y)	41,6	30,8
Górskie i podgórskie	0,0	4,6
Razem	52,8	49,7

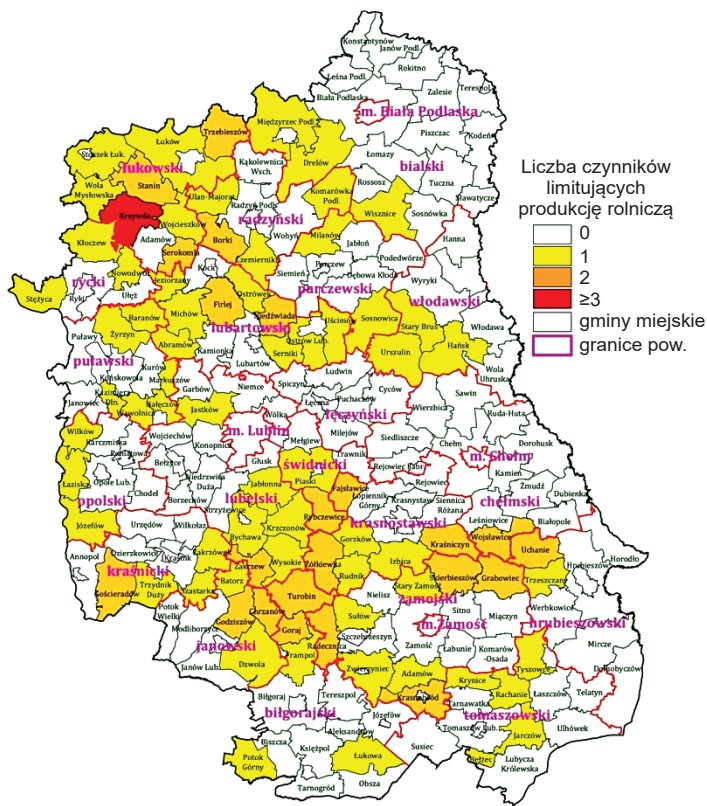
Źródło: Matyka i in., 2014 (8)

Obszary problemowe zostały wydzielone w IUNG-PIB (6) na podstawie kryteriów przyrodniczych, społeczno-agrarnych i organizacyjno-przestrzennych. Ich wyznacznikami były:

- rozdrobnienie gruntów wyrażone średnią powierzchnią gospodarstwa oraz liczbą działek i ich wielkością;
- skrajnie niekorzystne ONW kwalifikowane na podstawie wskaźnika wrpp;
- niska zawartość próchnicy;
- silne zagrożenie erozją wodną;
- bardzo silne zakwaszenie gleb;
- zanieczyszczenie gleb metalami ciężkimi.

Na 193 gminy funkcjonujące w woj. lubelskim, aż w 84 występowały czynniki decydujące o zaliczeniu danej jednostki do obszarów problemowych (rys. 3, tab. 4), a w 61 z nich wystąpił co najmniej 1 czynnik. Udział gmin z obszarami problemowymi wyniósł w woj. lubelskim 44% i był wyższy niż średnio w kraju (38%), co wskazuje na mniej korzystne warunki do produkcji rolniczej na terenie woj. lubelskiego, zmniejszające tym samym jego konkurencyjność.

¹Jadczyzyn J.: Regionalne różnicowanie obszarów problemowych rolnictwa (OPR) w Polsce. IUNG-PIB, Puławy, 2009, IU nr 163: 80.



Rys. 3. Czynniki ograniczające produkcję rolniczą

Źródło: Jadczyzyn, 2009 (6)

Tabela 4

Obszary problemowe rolnictwa (OPR) woj. lubelskiego na tle Polski

Wyszczególnienie	Woj. lubelskie	Polska
Ogólna liczba gmin wiejskich i wiejsko-miejskich	193	2171
Liczba gmin włączonych do OPR	84	820
z 1 czynnikiem limitującym	61	544
z 2 czynnikami limitującymi	22	204
z 3 i więcej czynnikami limitującymi	1	72
% gmin włączonych do OPR	44	38

Źródło: opracowanie własne na podstawie Jadczyzyn, 2009 (6)

Województwo lubelskie zajmuje powierzchnię 25,1 tys. km² i na tle kraju jest jednym z większych pod tym względem, zajmując 8% jego powierzchni (tab. 5). Zamieszkuje w nim jedynie 5,5% ludności Polski, co świadczy o niższej gęstości

zaludnienia (84 osoby na km²) niż przeciętnie w kraju (123 osoby na km²). Wysoki udział ludności zamieszkującej na terenach wiejskich (53,5%), jak również większa liczba osób pracujących w rolnictwie, leśnictwie i rybołówstwie na 100 ha użytków rolnych (21,2 osób·100 ha UR⁻¹) w porównaniu z krajem oraz znaczny udział pracujących w rolnictwie na tle Polski (12,9%), a także udział gospodarstw o powierzchni powyżej 1 ha UR wynoszący w relacji do kraju 12,4% (tab. 6), świadczą o zdecydowanie rolniczym charakterze województwa. Te uwarunkowania powodowały, że wartość produktu krajowego brutto na mieszkańca wynosiła w woj. lubelskim (37,5 tys. zł·os.⁻¹) i była znacznie niższa niż w kraju, osiągając wartość relatywną na poziomie jedynie 67,8%.

Produkcja rolnicza w woj. lubelskim prowadzona była przez 173 tys. gospodarstw rolnych posiadających użytki rolne, z których 98,8% dysponowało powierzchnią powyżej 1 ha UR (tab. 6). W strukturze obszarowej gospodarstw dominowały podmioty o powierzchni do 5 ha UR (51,2%). Natomiast gospodarstwa do 20 ha UR stanowiły w województwie aż 91,2% ogółu gospodarstw. Struktura obszarowa tylko nieznacznie (w grupie gospodarstw 5–20 ha UR) odbiegała od przeciętnej dla kraju. Natomiast w grupach gospodarstw większych obszarowo, powyżej 20 ha UR, porównanie z danymi dla kraju było mniej korzystane dla woj. lubelskiego (udział tych gospodarstw wynosił jedynie 7,7%). Na niekorzyść struktury obszarowej gospodarstw woj. lubelskiego i ich konkurencyjności świadczy także ich średnia powierzchnia wynosząca 8,4 ha UR, podczas gdy w Polsce w 2019 r. była ona równa 10,5 ha UR (tj. ponad 2 ha więcej).

Tabela 5

Powierzchnia i ludność w 2019 r.

Wyszczególnienie	Woj. lubelskie	Polska
Powierzchnia ogółem (km ²)	25123	312705
udział (%)	8,0	100,0
Ludność (tys.)	2108	38383
udział (%)	5,5	100,0
Gęstość zaludnienia (liczba osób na km ²)	84	123
Ludność zamieszkująca na obszarach wiejskich (%)	53,5	40,0
Produkt krajowy brutto (PKB) w 2018 r.:		
– na mieszkańca (tys. zł)	37,5	55,2
– relatywnie (%)	67,8	100
Pracujący w rolnictwie, leśnictwie, rybołówstwie i rybactwie (osób·100 ha UR ⁻¹)	21,2	16,2
Udział pracujących w rolnictwie w stosunku do kraju w %	12,9	100,0

*pracujący w wieku 15 lat i więcej (przeciętnie rocznie)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (15)

Tabela 6

Charakterystyka gospodarstw rolnych w 2019 r.

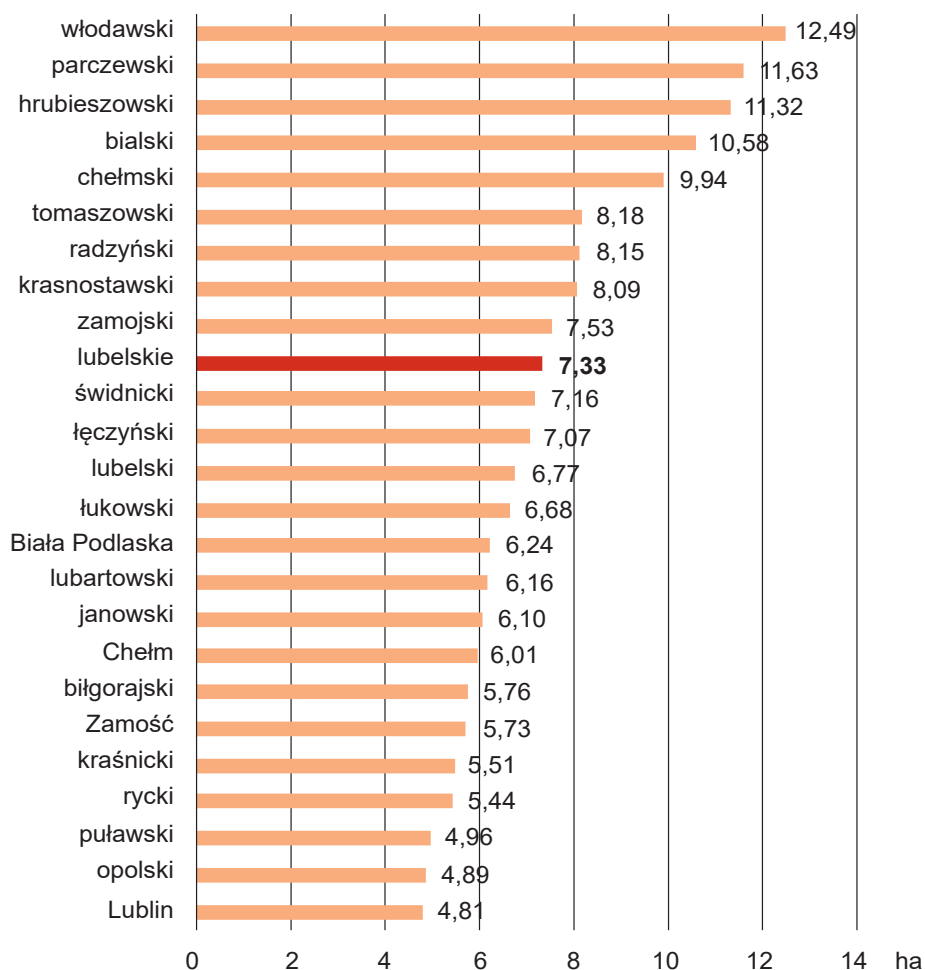
Wyszczególnienie	Woj. lubelskie	Polska
Liczba gospodarstw z użytkami rolnymi (tys.)	173	1406
Liczba gospodarstw z UR powyżej 1 ha (tys.)	171	1382
udział (%)	12,4	100,0
Udział wybranych grup obszarowych gospodarstw w ogólnej ich liczbie (%)		
0–1 ha	1,1	1,7
1,01–5 ha	51,2	51,7
5,01–20 ha	40,0	36,3
20,01–50 ha	6,0	7,6
powyżej 50 ha	1,7	2,6
Średnia powierzchnia UR w gospodarstwach rolniczych ogółem (ha)	8,43	10,45
Wyposażenie gospodarstw w ciągniki rolnicze (2016)		
tys. szt.	182,5	1491,7
%	12,2	100,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (3, 14, 17)

Na podstawie danych Powszechnego Spisu Rolnego z 2010 r. największą średnią powierzchnią gospodarstwa powyżej 1 ha UR, przekraczającą 11 ha UR, wyróżniały się powiaty parczewski i włodawski, charakteryzujące się mało korzystnymi warunkami agro-klimatycznymi (wskaźnik wrpp), a także powiat hrubieszowski (11,3 ha UR), który cechował się bardzo wysokim wskaźnikiem wrpp (rys. 4). Po przeciwnej stronie znalazły się powiaty wiejskie – opolski (4,9 ha UR) i puławski (5,0 ha UR).

Pod względem wyposażenia gospodarstw w ciągniki rolnicze, stanowiące środki materialne, woj. lubelskie nie odbiegało od poziomu wskaźników krajowych (tab. 6). Na wyposażeniu gospodarstw Lubelszczyzny znajdowało się 182,5 tys. ciągników rolniczych, a ich udział w odniesieniu do liczby w kraju wynosił 12,2%, na podobnym poziomie jak liczba gosp. powyżej 1 ha UR.

W zakresie struktury użytkowania gruntów woj. lubelskie odbiegało od przeciętnych warunków dla kraju. Charakteryzowało się nieznacznie większym udziałem gruntów ornych (78,6%) w odniesieniu do Polski (74,7%) (tab. 2) kosztem mniejszego udziału trwałych użytków zielonych (15,3%), w porównaniu ze wskaźnikiem dla kraju (21,7%). Lubelszczyzna wyróżniała się ponad dwukrotnie wyższym udziałem upraw trwałych, w tym sadow (5,0%), który w Polsce w 2018 r. wynosił 2,4%. Klasyfikowało ją to pod względem tego wskaźnika na drugim miejscu po województwie świętokrzyskim, a przed woj. mazowieckim. Udział gruntów ugorowanych w województwie lubelskim (1,1%) był niski i znajdował się na poziomie porównywalnym dla kraju.



Rys. 4. Średnia powierzchnia gospodarstwa powyżej 1 ha UR wg powiatów (PSR 2010)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (4)

Na terenie woj. lubelskiego, podobnie jak w całym kraju, do upraw dominujących w strukturze zasiewów w latach 2017–2019 należały zboża (73,5%), a pszenica i jęczmień stanowiły większą ich część (39,3%). Z kolei dla Polski udział pszenicy i jęczmienia był niższy i wynosił 31,5% (tab. 7). Znaczącą, w porównaniu z krajem, rolę w zasiewach odgrywały rośliny oleiste (10,1%), a także uprawa buraka cukrowego (3,6%). Natomiast uprawa kukurydzy na zielonkę dostarczającej energetycznej paszy w produkcji bydła mlecznego miała ponad dwukrotnie mniejszy udział niż średnio w kraju (2,4%). W porównaniu z udziałem pogłowia bydła w odniesieniu do kraju (6,0%) świadczy to o ekstensywnym charakterze i mniejszym znaczeniu tego kierunku produkcji.

Udział gospodarstw Lubelszczyzny w wielkości krajowej produkcji roślinnej (zbiorach) w zakresie wybranych upraw (tab. 7) wskazuje na ich istotne znaczenie w krajowej produkcji roślinnej. W latach 2017–2019 dostarczyły one 11,4% ogólnej produkcji zbóż, w tym 14,2% pszenicy i jęczmienia. Jeszcze większy, wynoszący 15,6%, był udział buraka cukrowego, a udział owoców wynosił aż 17,8% krajowych zbiorów. Relatywnie niższy był natomiast udział ziemniaka (6,5%) oraz kukurydzy na zielonkę (5,3%).

Tabela 7

Struktura zasiewów i udział w krajowej produkcji wybranych roślin (średnio z lat 2017–2019)

Wyszczególnienie	Woj. lubelskie	Polska
Udział w strukturze zasiewów (%)		
Zboża ogółem	73,5	71,7
w tym udział pszenicy i jęczmienia	39,3	31,5
Rośliny oleiste	10,1	8,5
Ziemniak	1,8	2,9
Burak cukrowy	3,6	2,2
Kukurydza na zielonkę	2,4	5,5
Udział w krajowej produkcji (zbiorach)		
Zboża ogółem	11,4	100
w tym udział pszenicy i jęczmienia	14,2	100
Rośliny oleiste	12,8	100
Ziemniak	6,5	100
Burak cukrowy	15,6	100
Kukurydza na zielonkę	5,3	100
Warzywa	10,8	100
Owoce	17,8	100

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (12, 14)

Za wskaźnik wydajności produkcji roślinnej, z uwagi na powszechność uprawy, może być uznany plon zbóż ogółem. W przypadku gospodarstw woj. lubelskiego w latach 2011–2013 nie przewyższał on ($3,21 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) przeciętnego plonu dla Polski ($3,64 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) (tab. 8), pomimo znacznie korzystniejszych warunków glebowo-klimatycznych opisanych wskaźnikiem wrpp. Świadczy to o niskiej konkurencyjności Lubelszczyzny w tym zakresie. Dopiero porównanie średnich plonów zbóż z lat 2017–2019 wydaje się potwierdzać korzystne uwarunkowania środowiskowe dla produkcji roślinnej w województwie. Przekładały się one na wyższe niż przeciętnie w kraju, plony zbóż ogółem. W przypadku poszczególnych gatunków roślin uzyskiwane plony w woj. lubelskim tylko nieznacznie przewyższały (od 3% w przypadku ziemniaka do 11% dla kukurydzy na ziarno i 19% dla kukurydzy na zielonkę) swym poziomem średnie plony dla Polski, ale w przypadku buraka cukrowego można było zaobserwować tendencję odwrotną.

Tabela 8

Plony wybranych roślin uprawnych (średnio z lat 2017–2019)

Wyszczególnienie	Woj. lubelskie	Polska
Zboża ogółem w t·ha ⁻¹ średnio 2011–2013	3,21	3,64
2017–2019	4,07	3,76
Pszenica	4,90	4,44
Kukurydza na ziarno	6,89	6,21
Rzepak i rzepik	2,93	2,76
Ziemniak	25,7	24,9
Burak cukrowy	57,1	61,7
Kukurydza na zielonkę	51,1	43,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (12)

Województwo lubelskie charakteryzowało się w 2018 r. dużo niższą obsadą zwierząt w przeliczeniu na 100 ha UR (28,6 SD·100 ha⁻¹ UR) niż przeciętnie w kraju (47,3 SD·100 ha⁻¹ UR) (tab. 9). O ile udział woj. lubelskiego w krajowym pogłowie bydła wynosił 6%, to w przypadku trzody chlewnej było to jedynie 4,7%, a w przypadku drobiu – 3,7%. Świadczy to o dominującej roli bydła w produkcji zwierzęcej, pomimo relatywnie niskiego udziału TUZ w strukturze użytkowania gruntów i niskiego udziału kukurydzy na zielonkę w strukturze zasiewów. Wskaźniki charakteryzujące produkcję zwierzęcą woj. lubelskiego, takie jak produkcja żywca rzeźnego w wadze żywej w kg·ha⁻¹ UR czy produkcja mleka krowiego w l·ha⁻¹ UR, były blisko dwukrotnie niższe niż średnio dla Polski. Jedynie przeciętny roczny udój od krowy, wynoszący w woj. lubelskim 5603 l·szt.⁻¹·rok⁻¹, był niższy jedynie o 2,6%. Przedstawione dane odnośnie produkcji zwierzęcej świadczą, że również w tej gałęzi produkcji rolniczej Lubelszczyzna nie wyróżniała się pozytywnie na tle kraju.

Tabela 9

Pogłowie zwierząt i wybrane elementy produkcji zwierzęcej w 2018 r.

Wyszczególnienie	Woj. lubelskie	Polska
Obsada zwierząt (SD·100 ha ⁻¹ UR)	28,6	47,3
Pogłowie zwierząt – bydło (tys.)	373,4	6201,4
%	6,0	100
trzoda chlewna (tys.)	553,9	11827,5
%	4,7	100
drób kurzy (tys.)	6809	182200
%	3,7	100
Produkcja żywca rzeźnego w wadze żywej (kg·ha ⁻¹ UR)	240	485
Produkcja mleka krowiego (l·ha ⁻¹ UR)	550	939
Przeciętny roczny udój od 1 krowy (l)	5603	5747

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (14)

Województwo lubelskie charakteryzowało się relatywnie niską wartością skupu produktów rolnych w przeliczeniu na jednostkę powierzchni w odniesieniu do kraju (tab. 10). Wartość ta dla województwa wynosiła 2928 zł·ha⁻¹ UR i stanowiła jedynie 68% wartości tego wskaźnika dla kraju. Swój wpływ wywarł zapewne czynnik relatywnie niskiego udziału gospodarstw o powierzchni powyżej 50 ha UR, które uznawane są za wiodące pod względem towarowej produkcji rolniczej. W województwie lubelskim wartość skupu zarówno produktów roślinnych, jak i zwierzęcych na ha UR była na zbliżonym poziomie. Natomiast w Polsce średnia wartość skupu produktów zwierzęcych ponad dwukrotnie przewyższała wartość skupu produktów roślinnych. Świadczy to o specjalizacji rolnictwa Lubelszczyzny w produkcji roślinnej. Warto podkreślić, że produkcja zwierzęca, zwłaszcza produkcja mleka, koncentruje się w woj. lubelskim w rejonach działania zakładów przetwórstwa mleka – Ryki, Krasnystaw, Radzyń Podlaski.

O niskiej towarowości produkcji gospodarstw Lubelszczyzny świadczy też udział skupu w produkcji (tab. 10). Spośród przedstawionych w tabeli produktów jedynie dla owoców omawiany wskaźnik przybierał wartość korzystniejszą dla województwa (66,1%) niż dla kraju (62,1%). Natomiast w pozostałych przypadkach obserwowano tendencję odwrotną, a najmniej korzystną w przypadku ziemniaka. Dane te świadczą o małej towarowości produkcji gospodarstw województwa lubelskiego i zużyciu w nich produktów na paszę lub samozaopatrzenie.

Tabela 10

Wartość skupu produktów rolnych na 1 ha UR, średnio z lat 2016–2018

Wyszczególnienie	Woj. lubelskie	Polska
Ogółem (zł)	2928	4289
Produkty roślinne (zł)	1439	1311
Produkty zwierzęce (zł)	1489	2978
Udział skupu w produkcji w 2019 r. (%) – zboża podstawowe	26,7	42,5
Udział skupu w produkcji w 2018 r. (%): ziemniak	13,4	23,6
warzywa	38,1	44,6
owoce	66,1	62,1
żywiec rzeźny*	74,4	91,3
mleko krowie	74,3	84,4

* (łącznie z tłuszczami); produkcja zbilansowana importem i eksportem w wadze poubojowej ciepłej

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (14)

Podsumowanie

Przedstawiona analiza uwarunkowań przyrodniczych i organizacyjno-ekonomicznych, wpływających na konkurencyjność rolnictwa Lubelszczyzny (konkurencyjność czynnikowa – potencjalna), a także porównanie zmian wskaźników charakteryzujących

produkcję rolniczą tego regionu na tle Polski (konkurencyjność wynikowa – rzeczywista) pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Istniejące uwarunkowania przyrodnicze i organizacyjno-ekonomiczne w sposób istotny oddziałują na konkurencyjność produkcji rolniczej w województwie lubelskim.
2. Z uwagi na dobre jakościowo gleby na Lubelszczyźnie uprawia się rośliny intensywne. Województwo lubelskie wyróżnia się jedną z największych w kraju produkcją owoców z drzew i krzewów jagodowych oraz warzyw gruntowych.
3. Mimo znaczących przewag w niektórych kierunkach produkcji, w tym głównie owoce, warzywa, wykorzystanie potencjału w wielu gałęziach produkcji rolniczej (głównie zwierzęcej) jest relatywnie niskie.
4. Słabą stroną województwa lubelskiego jest niekorzystna struktura obszarowa gospodarstw rolnych prowadząca do trudności w wyłącznym utrzymaniu się ich właścicieli tylko z rolnictwa.
5. Rolnictwo województwa lubelskiego generalnie nie w pełni wykorzystuje posiadane możliwości produkcyjne, co jest widoczne we wskaźnikach produktywności rolniczej (plonowanie roślin, obsada zwierząt).
6. Jedną z przyczyn mniejszego tempa wzrostu plonowania roślin i obniżenia efektywności technicznej są niedomagania organizacyjne rolnictwa Lubelszczyzny (np. zakwaszenie gleb).
7. Konsekwencją zmniejszania konkurencyjności rolnictwa Lubelszczyzny jest relatywne pogorszenie sytuacji dochodowej ludności rolniczej województwa rzutujące na nasilenie procesów wyludniania i ograniczenia rozwoju gospodarczego.
8. Przeprowadzona analiza pozwala na wskazanie kilku działań, służących poprawie konkurencyjności rolnictwa Lubelszczyzny:
 - optymalizacja wykorzystania gleb użytkowanych rolniczo;
 - podniesienie poziomu produkcyjnego gleb przez racjonalne stosowanie nawożenia mineralnego, zwłaszcza wapnowania;
 - systematyczne wzbogacanie gleb w substancję organiczną, w tym również przez poprawną gospodarkę nawozami organicznymi (odchody zwierząt);
 - właściwy dobór uprawianych gatunków roślin oraz odmian dostosowanych do miejscowych warunków;
 - wykorzystanie potencjału produkcyjnego trwałych użytków zielonych przez koncentrację produkcji zwierzęcej (przeżuwacze) na tych obszarach.
9. Uwarunkowania konkurencyjności i wewnętrzne zróżnicowanie rolnictwa w województwie lubelskim powinny być wyznacznikiem kierunków działalności doradczej.

Literatura

1. B o r o w i e c k i R., S i u t a - T o k a r s k a B.: Wyzwania i dylematy społeczno-gospodarcze Polski w procesie transformacji, TNOiK „Dom Organizatora”, Toruń 2012, ss. 294.
2. B o r o w i e c k i R., S i u t a - T o k a r s k a B.: Konkurencyjność przedsiębiorstw i konkurencyjność gospodarki Polski – zarys problemu. Nierówności Społeczne a Wzrost Gospodarczy, URZ, Rzeszów, 2015, **41(I/2015)**: 52-66.
3. Charakterystyka gospodarstw rolnych w 2016 r. GUS, Warszawa 2017, ss. 390.
4. Charakterystyka gospodarstw rolnych w województwie lubelskim. Powszechny Spis Rolny 2010. US Lublin, 2012, ss. 261.
5. H a r a s i m A.: Potencjał agroekologiczny rolnictwa województwa lubelskiego. Roczniki Naukowe SERiA, Warszawa-Poznań 2014, **XVI(1)**: 64-69.
6. J a d c z y s z y n J.: Regionalne zróżnicowanie obszarów problemowych rolnictwa (OPR) w Polsce. Instrukcja upowszechnieniowa nr 163, IUNG-PIB, Puławy 2009, ss. 80.
7. K o p i ń s k i J., M a t y k a M.: Ocena regionalnego zróżnicowania współzależności czynników przyrodniczych i organizacyjno-produkcyjnych w polskim rolnictwie. Zagadnienia Ekonomiki Rolnej, 2016, **1(346)**: 57-79.
8. M a t y k a M., K o p i ń s k i J., K r a s o w i c z S., Ł o p a t k a A.: Obszary specyficzne jako determinanta regionalnego zróżnicowania i perspektyw rozwoju polskiego rolnictwa. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy 2014, **40(14)**: 59-74.
9. N o s e c k a B., P a w ł a k K., P o c z t a W.: Wybrane aspekty konkurencyjności rolnictwa. W: Konkurencyjność polskiej gospodarki żywnościowej w warunkach globalizacji i integracji europejskiej. IERiGŻ, Warszawa 2011, **7**: 1-78.
10. N o w a k A.: Konkurencyjność rolnictwa Polski Wschodniej. Rozprawy Naukowe, UP Lublin 2017, **389**: 1-200.
11. O l c z y k M., D a s z k i e w i c z N.: Konkurencyjność podmiotów – ujęcie teoretyczne. W: Konkurencyjność. Poziom makro, mezo i mikro, N. Daszkiewicz (red.). Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2008, s. 13-20.
12. Produkcja upraw rolnych i ogrodniczych w (...) roku. GUS, Warszawa 2018–2020.
13. R a d ł o M.J.: Międzynarodowa konkurencyjność gospodarki. Uwagi na temat definicji, czynników i miar. W: Czynniki i miary międzynarodowej konkurencyjności gospodarek w kontekście globalizacji – wstępne wyniki badań. W. Bieńkowski i in. (red.). Prace i Materiały Instytutu Gospodarki Światowej, Warszawa 2008, **284**: 1-33.
14. Rocznik statystyczny rolnictwa. GUS, Warszawa 2018–2020.
15. Rocznik statystyczny województw. GUS, Warszawa 2020.
16. S t u c z y ń s k i T. i in.: Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski. Biuletyn Inf. IUNG, Puławy, 2000, **12**: 4-17.
17. Użytkowanie gruntów i powierzchnia zasiewów w 2019 r. GUS, Warszawa 2020, ss. 21.

Adres do korespondencji:

dr inż. Andrzej Madej; prof. dr hab. Stanisław Krasowicz
Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8,
24-100 Puławy
tel.: 81 4786809; 81 4786802
e-mail: amjan@iung.pulawy.pl; sk@iung.pulawy.pl

AUTOR

ORCID

Andrzej Madej

0000-0002-3369-1077

Stanisław Krasowicz

0000-0003-3949-1444

Monika Kowalik

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

KANAŁY KOMUNIKACJI NAUKOWEJ I UPOWSZECHNIANIA WIEDZY
Z ZAKRESU OCHRONY GLEB W KONTEKŚCIE NOWYCH WYZWAŃ
STRATEGICZNYCH EUROPEJSKIEGO ZIELONEGO ŁADU*

Słowa kluczowe: Europejski Zielony Ład, komunikacja naukowa, upowszechnianie, gleba, zarządzanie zasobami glebowymi, AKIS

Wstęp

Na początku trzeciej dekady XXI w. praktycznie każdy obywatel naszego kraju posiada dostęp do wiedzy i informacji z różnych sfer życia. W pracy tej komunikowanie naukowe rozumiane jest jako dzielenie się wiedzą, budowanie zaufania w stosunku do wiedzy naukowej w kontekście rozwoju relacji partnerskich, czyli opartych na dialogu różnych uczestników komunikacji (20).

Wyzwania i problemy, takie jak skutki zmian klimatu czy zanieczyszczenie środowiska wymuszają szerokie rozpowszechnianie zweryfikowanej wiedzy o środowisku, w tym również o zasobach glebowych oraz obecnych i potencjalnych niepożądanych skutkach działalności człowieka. Różnorodne kanały informacyjne dają również narzędzie do mitygacji niektórych zmian związanych z tymi problemami. Ma to ogromne znaczenie globalne i regionalne, w tym dla gospodarki naszego kraju. Jak podaje FAO blisko 95% ilości żywności na świecie jest pośrednio lub bezpośrednio związana z jakością gleb, na których jest produkowana (ang. *soil health*). W tej sytuacji podjęcie odpowiednich działań informujących wszystkich partnerów w społeczeństwie o stanie gleb, zagrożeniach, dobrych praktykach w zarządzaniu glebą oraz o innowacjach w dziedzinie poprawy ich jakości jest szczególnie istotne.

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.2 pt. „Gleby użytkowane rolniczo” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

Gleby w strategii Europejski Zielony Ład

Agenda 2030 (23) na rzecz zrównoważonego rozwoju, która została przyjęta przez Organizację Narodów Zjednoczonych 25 września 2015 r., wyznacza globalne ramy dla osiągnięcia zrównoważonego rozwoju do 2030 r. Zawiera ona zbiór 17 celów zrównoważonego rozwoju (ang. *SDG*) i 169 związanych z nimi wartości docelowych, do których mają dążyć państwa członkowskie i zainteresowane strony. Cele te oddają trzy wymiary zrównoważonego rozwoju – gospodarczy, społeczny i środowiskowy. Są w nich zawarte również kwestie związane z ochroną zasobów glebowych. UE odegrała kluczową rolę w formułowaniu Agendy ONZ na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030 oraz, wraz z państwami członkowskimi, zobowiązała się do objęcia wiodącej roli w jej wdrażaniu. Znaczącą rolę w tych działaniach odgrywają kraje członkowskie Wspólnoty Europejskiej za pośrednictwem polityki zewnętrznej, przez uzupełniające działania służące wdrożeniu celów Agendy, a także podejmując inicjatywy w innych państwach, w szczególności tych najbardziej potrzebujących.

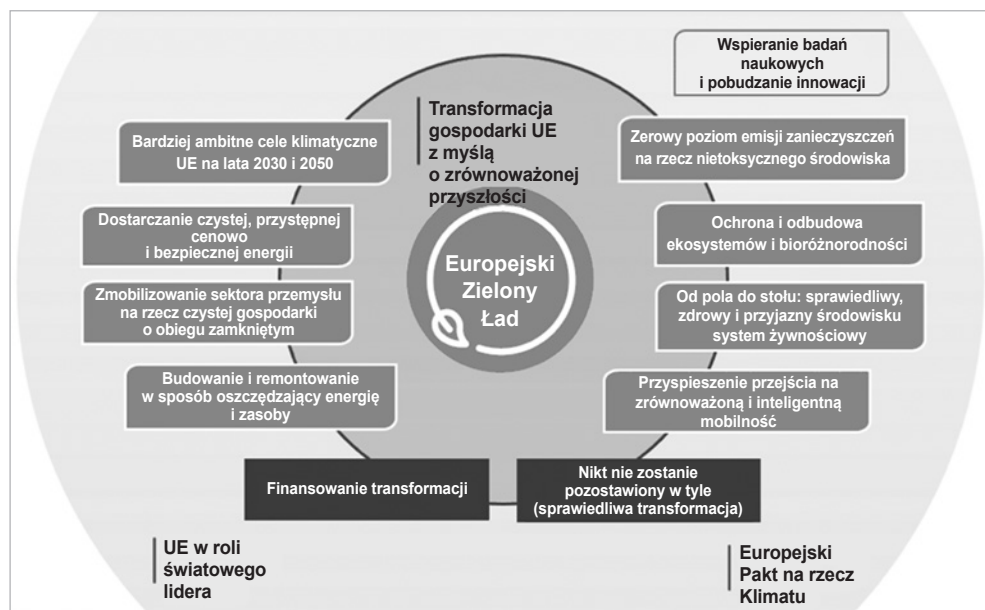
Pod koniec 2019 roku Komisja Europejska zaprezentowała nowy Europejski Zielony Ład (ang. *European Green Deal*) – plan zbudowania zrównoważonej gospodarki UE poprzez dostrzeżenie w wyzwaniach związanych z klimatem i środowiskiem naturalnym możliwości we wszystkich obszarach polityki oraz przeprowadzenie transformacji, która będzie sprawiedliwa i sprzyjająca włączeniu społecznemu. Głównym celem EZŁ jest osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 r. na obszarze Unii Europejskiej. Sukcesywnie uzgadniano elementy w zakresie działań EZŁ w następujących kategoriach: klimat, energia, rolnictwo, przemysł, środowisko i oceany, transport, finanse i rozwój regionalny, badania naukowe i innowacje. EZŁ, mimo iż był ogłaszany przed pandemią, ma stanowić również wsparcie dla wyjścia z niej (8).

Europejski Zielony Ład jest bezpośrednio powiązany z realizacją nowej Wspólnej Polityki Rolnej UE, która dąży do realizacji 9 celów szczegółowych:

1. Wspieranie godziwych dochodów gospodarstw rolnych i ich odporności w całej Unii w celu zwiększenia bezpieczeństwa żywnościowego;
2. Zwiększenie zorientowania na rynek i konkurencyjności, w tym większe ukierunkowanie na badania naukowe, technologię i cyfryzację;
3. Poprawa pozycji rolników w łańcuchu wartości;
4. Przyczynianie się do łagodzenia zmiany klimatu i przystosowywania się do niej, a także do zrównoważonej produkcji energii;
5. Wspieranie zrównoważonego rozwoju i wydajnego gospodarowania zasobami naturalnymi, takimi jak woda, gleba i powietrze;
6. Przyczynianie się do ochrony różnorodności biologicznej, wzmacnianie usług ekosystemowych oraz ochrona siedlisk i krajobrazu;
7. Zachęcanie młodych rolników do rozwoju działalności gospodarczej na obszarach wiejskich;
8. Promowanie zatrudnienia w sektorach związanych z biogospodarką i leśnictwem na obszarach wiejskich;

9. Poprawa reakcji rolnictwa UE na potrzeby społeczne dotyczące żywności i zdrowia, w tym bezpiecznej, bogatej w składniki odżywcze i zrównoważonej żywności, jak też dobrostanu zwierząt,
oraz celu przekrojowego: modernizacja sektora poprzez wspieranie i dzielenie się wiedzą, innowacjami i cyfryzacją w rolnictwie oraz na obszarach wiejskich, a także zachęcanie do ich wykorzystywania.

Każdy z tych celów jest bezpośrednio lub pośrednio związany z zarządzaniem glebami oraz metodami zapobiegania ich postępującej w zastraszającym tempie degradacji (24). Wspierają one priorytety Komisji Europejskiej, takie jak Europejski Zielony Ład, Europa gotowa na wyzwania ery cyfrowej czy walka z rakiem (cel 9.). Na przykład misja Klimat (ang. *Mission Climate*) jest już konkretnym elementem nowej strategii adaptacji do zmian klimatu, a misja Gleba (ang. *Mission Soil*) – flagową inicjatywą długoterminowej wizji dla obszarów wiejskich UE.

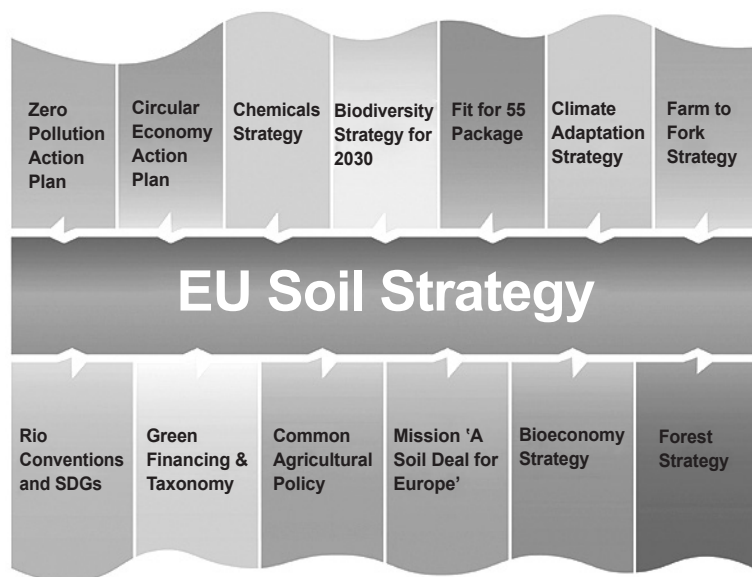


Rys. 1. Europejski Zielony Ład – schemat

Źródło: COM(2019) 640 final (3)

Opublikowana 17 listopada 2021 r. finalna wersja Strategii glebowej UE do 2030 r. (rys. 2), która wchodzi w skład planu EZŁ, wskazuje na potrzebę komunikacji i edukacji w przybliżaniu tematyki dotyczącej gleb. Dodatkowo przyjęty plan realizacji misji Europejski Pakt na rzecz Gleby (ang. *A Soil Deal for Europe*) podkreśla znaczący wkład misji w zwiększenie wiedzy o glebie poprzez szerokie włączenie obywateli i podmiotów zaangażowanych w cały łańcuch produkcji żywności, w tym rolników,

przedsiębiorstw spożywczych oraz sprzedawców detalicznych (4). Takie działania są zgodne z wizją demokratyzacji nauki, szeroko wspieraną przez Komisję Europejską, ograniczając przy tym działania komunikacyjne w autarkicznym, czyli hermetycznym podejściu naukowców do informowania społeczeństwa, w miejscach gdzie pojawia się deficyt komunikacji (16).



Rys. 2. Powiązania pomiędzy Strategią glebową UE do 2030 r. a innymi inicjatywami Wspólnoty Europejskiej

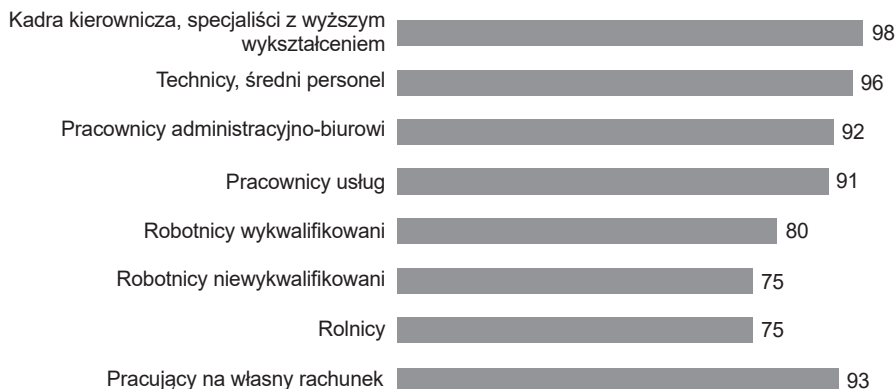
Źródło: COM(2021)699 final (4)

Informowanie społeczeństwa – komunikacja, upowszechnianie i wdrażanie

Komunikację naukową można rozumieć zarówno jako proces transferowania informacji, wiedzy i idei, ale również jako działalnością społeczną, która generuje wiedzę i współtworzy symboliczny wymiar naszej rzeczywistości – model konstytutywny (20). Drugi model komunikacji dominuje w przypadku otwartej nauki (19).

W minionym programie ramowym Komisji Europejskiej – Horyzont 2020 podkreślono bardzo istotną rolę przygotowania strategii komunikacji ze społeczeństwem w badaniach naukowych (5). Większość projektów naukowych finansowana jest ze środków publicznych. Społeczeństwo europejskie oczekuje informacji o postępie technologicznym w różnych dziedzinach. Dzięki rozwojowi technologii i infrastruktury internetowej jest to o wiele łatwiejsze niż kiedyś. Badania przeprowadzone w Centrum Badania Opinii Społecznej (CBOS) wskazują, iż relatywnie najmniejszy odsetek wśród pracujących obywateli korzystających z Internetu stanowią rolnicy,

którzy są jednym z kluczowych partnerów w systemie AKIS, czyli Systemie Wiedzy i Innowacji w Rolnictwie (rys. 3) (1).



Rys. 3. Odsetki korzystających z Internetu w grupach zawodowych

Źródło: CBOS, 2021 (1)

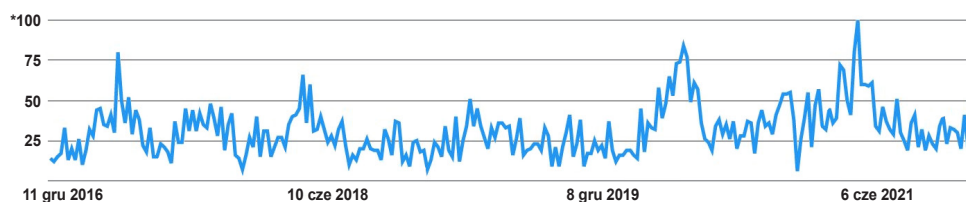
Publikowanie wyników badań jest podstawowym zadaniem pracowników prowadzących badania naukowe w instytucjach publicznych, ale równie istotnym aspektem, jeśli nie ważniejszym, jest informowanie społeczeństwa o postępach w nauce. Jest to szczególnie istotne w okresie, w którym ludzkość stanęła przed ogromnymi wyzwaniami, tj. pogorszenie stanu środowiska, globalne zmiany klimatu, kryzysy migracyjne czy pandemia COVID-19. Presja na środowisko ma wpływ na jakość gleb, szczególnie tych użytkowanych rolniczo, oddziałując na ich potencjał produkcyjny. Negatywne zmiany w środowisku w błyskawicznym tempie mogą doprowadzić do trwałej utraty tych zasobów, a zarazem utraty ich funkcji niezbędnych dla człowieka.

Komisja Europejska wyróżnia 3 sposoby przekazywania wyników badań w realizowanych projektach. Zarówno w poprzednim konkursie na projekty naukowe – Horyzont 2020, jak i w nowym Horyzoncie Europa są to: informowanie/komunikowanie, upowszechnianie i wdrażanie (ang. *information, dissemination, extention*) (7, 10).

Badania podjęte przez Feldy (11) wskazują, iż aktywność w formie publikacji naukowych jest podejmowana najchętniej przez badaczy. Wynika to z kryteriów oceny parametrycznej jednostek naukowych i awansowania naukowców. Stosunkowo małe zainteresowanie wśród naukowców budzi upowszechnianie rezultatów badań za pośrednictwem Internetu, gdyż nie wywiera to wpływu np. na kooperację z firmami. O nawiązywaniu współpracy z biznesem nie decyduje też popularyzacja badań w prasie niespecjalistycznej ani wystąpienia w radiu bądź telewizji. Działania te warto jednak podejmować, gdyż mogą być pomocne w zwiększaniu rozpoznawalności badacza i podnoszeniu jego prestiżu.

Charakterystyka poszczególnych form upowszechniania wiedzy o glebie w Polsce

Dla polskich naukowców dostępne są praktycznie wszystkie formy komunikacji i upowszechniania. Zależnie od rodzaju informacji czy badań, jakie powinny być komunikowane nt. zarządzania glebami, np. przy zmianach legislacyjnych, projektach, inicjatywach, innowacjach, wynikach badań i wszystkie inne zagadnienia dotyczące zarządzania i ochrony gleb, wybierane są różne kanały informacyjne. Wyniki 5-letnich analiz wyszukiwania przedstawione w Google Trends (15) wskazują, że intensywność wyszukiwania hasła „gleba” w Polsce zmienia się sezonowo, a najwyższa przypada na początek okresu wegetacyjnego (rys. 4).



**Liczby reprezentują poszczególne zainteresowania w wyszukiwaniu względem najwyższego punktu na wykresie. Wartość 100 oznacza najwyższą popularność hasła. Wartość 50 oznacza, że popularność hasła była dwukrotnie mniejsza. Wartość 0 wskazuje, że dla danego hasła nie ma wystarczających danych.*

Rys. 4. Zainteresowanie hasłem „gleba” w okresie 5 lat (XII 2016–2021) w wyszukiwarce Google w Polsce

Źródło: Google Trends (15)

Wśród dostępnych aktualnie form i kanałów komunikacji naukowej można wyróżnić 14 grup, które scharakteryzowano poniżej.

Książki, podręczniki, słowniki, atlasy w formie tradycyjnej i elektronicznej

Są to tradycyjne formy upowszechniania wiedzy, jednak proces ich tworzenia jest stosunkowo długi w porównaniu z innymi formami i kanałami komunikacji. Proces weryfikacji publikacji, dobre praktyki wydawcy zapewniają jakość nowej wiedzy dotyczącej gleby i środowiska. Publikacje książkowe dostępne są często zarówno w formie tradycyjnej, jak i e-booka w różnych formatach plików.

Broszury, ulotki, plakaty

Stosunkowo niewielkie koszty i krótki czas wymagany do przygotowania broszur, ulotek czy plakatów sprawiają, że są to formy bardzo popularne w projektach oraz programach, np. finansowanych ze środków publicznych. Tradycyjna forma papierowa pozwala na dotarcie również do osób, które nie korzystają z mediów cyfrowych, np. rolników odwiedzających krajowe czy regionalne targi i wystawy.

Czasopisma w formie papierowej

Tradycyjne formy upowszechniania wiedzy o środowisku, glebie i rolnictwie to czasopisma drukowane, zarówno naukowe (np. Polish Journal of Agronomy), jak i branżowe (np. Aura, Farmer, Top Agrar czy Nowoczesna Uprawa).

Czasopisma cyfrowe

Coraz częściej wydawcy decydują się na udostępnianie publikacji w formie cyfrowej. Odbywa się to zarówno jako alternatywne do tradycyjnego wydawanie numeru cyfrowego, jak i zastąpienie wydania papierowego cyfrowym. W formule elektronicznej (pliki PDF, EPUB czy MOBI) dostępne są nie tylko poszczególne artykuły wielu czasopism naukowych w otwartym dostępie, ale i czasopisma dedykowane rolnikom czy specjalistom, np. periodyki wydawane przez ośrodki doradztwa rolniczego czy izby rolnicze. Różne modele subskrypcji płatnych czasopism specjalistycznych pozwalają na dostosowanie formatu do potrzeb odbiorcy.

Repozytoria cyfrowe, zbiory danych, w tym portale mapowe

Repozytoria cyfrowe są rozumiane jako usługa udostępniana publicznie lub ograniczona do uprawnionej grupy odbiorców. Ograniczenie może wynikać zarówno z konieczności rejestracji, jak i z przeznaczenia repozytorium, np. mogą one być dedykowane jedynie grupie ekspertów czy specjalistów. Przykładem takiego narzędzia jest dostępne dla ekspertów „Inventory and Assessment of Soil Protection Policy Instruments in EU Member States” zwane soil wiki (12). Pozwala ono na przekazywanie i modyfikowanie, a także udostępnianie przez ekspertów z poszczególnych krajów członkowskich UE informacji o aktach prawnych, strategiach, programach monitoringowych i innych regulacjach w zakresie gleb zarówno na poziomie krajowym, jak i nawiązujących do regulacji wspólnotowych. Wiele rozwiązań typu wiki, z których najbardziej popularna jest Wikipedia, znanych jest szerokiemu gronu obywateli na całym świecie. Głównym wyzwaniem związanym z tego typu narzędziami udostępnionymi publicznie jest niewystarczająca liczba ekspertów, którzy zechcieliby współpracować przy tworzeniu, redagowaniu i aktualizacji treści. W efekcie dostępna wiedza, z której bardzo często czerpią młodzi ludzie, jest nieprawdziwa, nieaktualna lub niepełna (18).

Od kilku lat intensywnie rozwijane są portale mapowe, takie jak GEOPORTAL, które umożliwiają nie tylko specjalistom, ale i pozostałym użytkownikom Internetu dotarcie do map źródłowych związanych np. z jakością gleb na danym obszarze. Portal ten notuje średnio ponad 700 000 odwiedzin miesięcznie (najwięcej w kwietniu 2021 r. – 996 923 odwiedzin) (14).

Dzięki projektom finansowanym ze środków publicznych powstało wiele nowych zbiorów danych dotyczących gleb, ale tylko część z nich została szerzej udostępniona społeczeństwu. Przykładem może być portal Otwarte Dane (21), gdzie umieszczono dane pochodzące z ponad 100 instytucji publicznych. Portal ten jest źródłem wia-

rygodnych, na bieżąco aktualizowanych danych, udostępnianych bezpłatnie do ponownego wykorzystywania. Stworzono go z myślą o obywatelach zainteresowanych działaniami państwa, firmach, które budują innowacyjne produkty i usługi oparte na danych, organizacjach pozarządowych wykorzystujących dane w codziennej pracy, naukowcach prowadzących badania, urzędnikach przygotowujących raporty i analizy. W zakresie gleb w Otwartych Danych (21) dostępne są m.in. aktualne wykazy środków poprawiających właściwości gleby (aktualizacja co miesiąc), nawozów oraz środków ochrony roślin.

Kongresy, konferencje, warsztaty

Konferencje zarówno w formie tradycyjnej, jak i na platformach cyfrowych stanowią bardzo dobre źródło aktualnej wiedzy o glebie, środowisku, nowoczesnych technologiach i innych tematach dotyczących racjonalnego wykorzystania zasobów naturalnych. Stanowią one pole do dyskusji wśród profesjonalistów i praktyków, wymiany doświadczeń i opinii. Pandemia COVID-19 przyczyniła się do błyskawicznego przełomu w zdobywaniu umiejętności cyfrowych społeczeństwa. Wiele wydarzeń naukowych, dzięki możliwościom platform cyfrowych, nie jest już ograniczonych przestrzenią pomieszczeń wykładowych do niewielkiej liczby uczestników. Znaczna liczba konferencji czy warsztatów ma charakter otwarty – wystarczy wykorzystanie udostępnionego linka i każdy zainteresowany ma możliwość udziału w dyskusji. Wiele wydarzeń jest rejestrowanych i istnieje możliwość ponownego ich obejrzenia w innym czasie. Znaczna liczba konferencji dostępnych w Polsce jest poświęcona tematyce odnoszącej się do programów i projektów nawiązujących do zagadnień EZŁ.

Bezpłatne platformy szkoleniowe z kursami typu MOOC

MOOC, czyli Massive Open Online Course odpowiada polskiemu określeniu Masowy Otwarty Kurs Online. W Polsce istnieją już duże serwisy szkoleniowe, takie jak NAVOICA rozwijana przez Ministerstwo Edukacji i Nauki oraz Ośrodek Przetwarzania Informacji. Wśród kategorii kursów niełatwo wyszukać zagadnienia bezpośrednio dotyczące tematów związanych np. z ochroną gleb i zapobieganiem ich degradacji, ale istnieją kursy takie jak np. „Analiza klasyfikacji gleby zgodnie z PN-ISO 14688”. Opis tego kursu wskazuje, iż umożliwi on zdobycie wiedzy praktycznej znajdującej zastosowanie w pracy inżyniera. Poza NAVOICA są również inne serwisy, jednak oferują one głównie szkolenia w języku angielskim.

Blogi internetowe

Wyniki wyszukiwania w najpopularniejszej w Polsce wyszukiwarce internetowej dla urządzeń stacjonarnych i mobilnych, po wpisaniu haseł „gleba+blog” wskazują, iż istnieją blogi tematyczne poświęcone glebie i jej ochronie. Najwyżej promowane przez wyszukiwarkę są blogi komercyjne, pełniące rolę promocyjną, np. dla firm na-

wozowych czy laboratoriów ofertujących gamę usług w zakresie analiz glebowych. Ta forma publikacji w Polsce nie jest jeszcze rozpowszechniona, choć z pewnością można znaleźć profesjonalne serwisy tego typu (25).

Portale i strony internetowe

Portale i strony internetowe to źródła, w których bardzo istotny jest podmiot administrujący dany serwis oraz wsparcie ekspertów w zakresie wiedzy fachowej. Przykładem może tu być europejski serwis Joint Research Centre – European Soil Data Centre (ESDAC), gdzie kategoria dane i artykuły to zweryfikowana wiedza specjalistów w formie map i atlasów, raportów, analiz czy artykułów (17). Większość projektów naukowych odnoszących się do gleb posiada swoje strony lub portale internetowe. Część z nich gromadzi artykuły, akty prawne czy inne informacje w formie uporządkowanych bibliotek, np. Biblioteka krajowa w projekcie EJP SOIL dotyczącym zarządzania europejskimi zasobami glebowymi (6).

Wiele stron internetowych nie jest weryfikowanych przez specjalistów w danej dziedzinie. Wiedza czerpana z takich źródeł może prowadzić do mylnych wniosków i niewłaściwych działań, np. poza błędami redakcyjnymi na stronach odwołują się one do nieaktualnych już systemów klasyfikacji gleb (25).

Media społecznościowe

Obecność w mediach społecznościowych stała się obowiązkiem związanym z promowaniem wizerunku nie tylko wśród osób publicznych czy celebrytów, ale również w jednostkach publicznych. Przynajmniej jedno konto w mediach społecznościowych ma zdecydowana większość instytucji publicznych. Według badania GEMIUS/PBI w marcu 2021 r. (13) trzema najbardziej popularnymi mediami społecznościowymi w Polsce były Facebook, Instagram i Twitter.

Istotnym medium są również platformy umożliwiające zamieszczanie filmów promujących np. dobre praktyki w zarządzaniu glebą, m.in. YouTube czy Vimeo (22).

Newslettery branżowe i projektowe

Newsletter to w dosłownym tłumaczeniu „list z wiadomościami”. Taki list stanowi wiadomość mailowa przekazywana regularnie określonej grupie odbiorców – subskrybentów newsletteru. Przykładem mogą tu być newslettery w projektach EJP SOIL czy NUTRIMAN, które na bieżąco, w czasie trwania programu były przesyłane i udostępniane na stronie internetowej informującej o projekcie. Newsletter może poruszać zagadnienia ogólne, dotyczące aktualnych problemów czy przyszłych wyzwań, może też być dodatkowym miejscem, gdzie są umieszczane informacje o wydarzeniach przyszłych i zrealizowanych oraz np. odnośniki do materiałów czy innych projektów dotyczących gleb.

Muzea, wystawy tematyczne

W Polsce jednym z najbardziej znanych ośrodków przybliżających wiedzę o glebie, czynnikach degradujących oraz zabiegach hamujących degradację jest Centrum Edukacji Gleboznawczej – Muzeum Gleb utworzone przy Uniwersytecie Rolniczym w Krakowie. Wieloletnia wiedza fachowców oraz wsparcie finansowe dla projektu pozwoliły w 2012 r. na utworzenie ośrodka popularyzującego m.in. wiedzę o glebie. W centrum realizowane są zajęcia dla studentów, lekcje tematyczne dla uczniów na różnych poziomach kształcenia, można je zwiedzić również indywidualnie. Zajęcia prowadzone są na podstawie rzeczywistych przekrojów glebowych popartych dokumentacją filmową, fotograficzną, opisową i analityczną, co wprowadza słuchacza w świat gleb i środowiska przyrodniczego oraz krajobrazów, zróżnicowanych w skali Polski i Europy (2).

Wydarzenia odnoszące się do tematyki glebowej

Jednym z najważniejszych wydarzeń jest Międzynarodowy Dzień Gleby (World Soil Day). Został on ustanowiony przez Międzynarodową Organizację Narodów Zjednoczonych w czerwcu 2013 roku i jest obchodzony corocznie 5 grudnia. Obecnie wydarzenie to gromadzi bardzo dużą liczbę jednostek i organizacji. Dodatkowo na szczeblu krajowym (Wydarzenia Centrum Nauki Kopernik) jak i regionalnym (Lubelski Festiwal Nauki) organizowane są wydarzenia związane z tematyką glebową.

Fora tematyczne dotyczące gleb oraz grupy tematyczne

W Polsce brak jest profesjonalnego forum internetowego poświęconego glebom, jednakże tematyka ta pojawia się na innych forach związanych np. z ogrodnictwem czy forach dotyczących konkretnych gatunków roślin uprawnych.

Nie bez znaczenia są grupy branżowe lub grupy tematyczne Facebooka. Przykładem może być tu grupa publiczna „Rozmowy o rolnictwie” skupiająca blisko 98 609 aktywnych członków (stan na 5 grudnia 2021 r.). Miejsce to charakteryzuje ożywiona dyskusja w zakresie nowych regulacji odnoszących się np. do dobrych praktyk rolniczych czy rozwiązań na szczeblu centralnym związanych z suszą glebową.

Wyzwania związane z upowszechnianiem zagadnień nt. gleb

Kluczowym problemem odnoszącym się do nowych informacji, z jakim borykają się wszyscy zainteresowani dostępem do wiedzy, jest ich ilość i wartość merytoryczna. Mnogość kanałów, z których możemy czerpać wiedzę nie zawsze odpowiada jakości ofertowanych materiałów, a ich wybór może nastroczać wielu problemów osobie niezajmującej się profesjonalnie tematyką związaną z glebami. Nawet dla profesjonalistów wyzwaniem staje się selekcja treści, w których nie zawsze zawarte są treści obiektywne.

Na kształt informacji ma wpływ podmiot, który sfinansował jej powstanie, stąd ogromnego znaczenia nabiera pochodzenie materiałów, które może mieć kluczowy wpływ na ich jakość. Warto sięgać po informacje u źródeł, ponieważ obecnie dzięki kanałom cyfrowym, nie zawsze są one powielane z dokładnym powołaniem się na źródło lub wiernym tłumaczeniem. Zniekształcony przekaz np. na temat dobrych praktyk w nawożeniu gleb lub zwiększaniu zasobów materii organicznej w glebach może mieć bardzo negatywne skutki dla odbiorcy, w tym ekonomiczne.

Kolejnym wyzwaniem są odbiorcy i ich znajomość języków obcych, szczególnie angielskiego, który jest dominującym językiem w komunikacji naukowej. O ile dla młodszych pokoleń czytanie ze zrozumieniem tekstów czy stron internetowych w języku angielskim jest mniejszym problemem, to dla części osób kończących szkołę podstawową przed rokiem 90. analiza literatury w tym języku stanowi problem. Udało się go rozwiązać częściowo przez szeroko dostępne narzędzia do tłumaczenia maszynowego, które, mimo iż często niedoskonałe, pozwalają zrozumieć przynajmniej podstawowy przekaz (np. Reverso, DeepL, Google Translator).

Pandemia jaskrawo pokazała z jednej strony możliwości, jakie udostępnia dzisiejsza technologia, które można wykorzystać w upowszechnianiu wiedzy na temat gleb. Z drugiej strony trudno mówić obecnie o nieformalnym dzieleniu się wiedzą, jakie ma miejsce w trakcie konferencji czy szkoleń. Wiedza o glebie, szczególnie w kręgach związanych z rolnictwem, to w dużej mierze dzielenie się własnymi doświadczeniami – sukcesami i niepowodzeniami, jak i szerzenie dobrych praktyk w zakresie zarządzania glebami i ich ochroną. Wyzwania Europejskiego Zielonego Ładu mają szansę być szeroko rozpowszechniane pod warunkiem właściwego doboru środków przekazu do różnych kręgów odbiorców. Szereg narzędzi dostępnych na rynku umożliwia analizę jakościową i ilościową poszczególnych grup odbiorców (np. Google Analytics, statystyki platformy Zoom, Facebook Business Suite) przy zachowaniu wymogów prawnych Polityki Ochrony Prywatności (RODO i tzw. ciasteczka na stronach internetowych).

Podsumowanie

Przytoczone przykłady kanałów komunikacji ze społeczeństwem, związanych z przekazywaniem informacji o glebach, stanowią zestawienie najpopularniejszych rozwiązań, jakie dotychczas wykorzystywane były w różnym stopniu przez partnerów systemu AKIS. Wiedza o przeznaczeniu, funkcjonalności, wadach i zaletach oraz umiejętność korzystania z tych kanałów czy metod w procesie upowszechniania informacji o glebie jest szczególnie potrzebna. Środki techniczne dostępne w tym zakresie zmieniają się bardzo dynamicznie – pojawiają się nowe możliwości związane z szerokopasmowym Internetem rozszerzającym sukcesywnie swój zasięg na terenach wiejskich. Mamy również do czynienia z coraz bardziej dotkliwym zjawiskiem przemęczenia „bombardującymi” nas z różnych źródeł informacjami, szczególnie

w przypadków kanałów cyfrowych. Przed przedstawicielami jednostek, które udostępniają źródłowe i oryginalne informacje dotyczące postępu w naukach o glebie, ochronie środowiska czy rolnictwie, stoją ogromne wyzwania. Najistotniejszym z nich są kompetencje cyfrowe i ciągła aktualizacja dotychczasowej wiedzy.

Jakie kanały i środki do komunikacji naukowej i upowszechniania zyskują na popularności, a które z nich tracą – trudno dziś stwierdzić. Wiele zależy od wysokości i kierunku strumienia wsparcia finansowego. Przykładem może być tworzona sieć żywych laboratoriów związanych z eksperymentami (LLs, ang. *Living Labs*) i latarni morskich do prezentacji innowacyjnych rozwiązań (LHs, ang. *Light House*) na obszarach wiejskich i miejskich, aby przyspieszyć współtworzenie i wdrażanie rozwiązań w gospodarstwach rolnych, lasach, krajobrazach naturalnych i środowiskach miejskich w różnorodnych kontekstach geograficznych i społeczno-gospodarczych (9). Dodatkowo formami szerzej wykorzystywanymi mogą stać się „kawiarnie naukowe”, hecathony czy tzw. otwarte notatniki naukowców zamieszczane w mediach społecznościowych (20). Zapewne szerzej dostępne będzie stosunkowo nowe rozwiązanie, takie jak profesjonalne gry komputerowe, czy ich elementy, które były już na rynku (np. *Farming Simulator*, *Farma* czy *Minecraft*), ale błyskawiczny rozwój technologii *VirtualReality* (VR) da o wiele większe możliwości grafikom projektującym takie rozwiązania. Trudno dziś określić, jak na młodego człowieka wpłynie obserwacja procesu powstawania czy degradacji gleby przedstawiona z wykorzystaniem VR (26).

Koszty upowszechniania wiedzy o glebach są bardzo istotne, choć najważniejszy jest czas, jako swego rodzaju „zasób nieodnawialny”, zarówno dla przygotowujących materiały oraz udostępniających je, jak i odbiorców. Obecnie pewne jest wsparcie Komisji Europejskiej i organów krajowych dla wszelkich inicjatyw ułatwiających szeroki dostęp społeczeństwa do informacji o stanie wiedzy i innowacjach dotyczących środowiska, z którym zasoby glebowe są nierozzerwalnie związane.

Literatura

1. CBOS – Komunikat z badań nr 83/2021 „Wykorzystanie Internetu”, s. 3, ISSN 2353-5822, lipiec 2021 https://www.cbos.pl/SPISKOM.POL/2021/K_083_21.PDF
2. Centrum Edukacji Gleboznawczej – Muzeum Gleb: <https://muzeumgleb.pl/> (dostęp 5.12.2021 r.)
3. COM(2019) 640 final. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Komitetu Regionów, Europejski Zielony Ład, Bruksela, dnia 11.12.2019 r.
4. COM(2021) 699 final. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, EU Soil Strategy for 2030, Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate, {SWD(2021) 323 final} Bruksela 17.11.2021 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0699>
5. Communicating EU research and innovation guidance for project participants, Version 1.0, 25 września 2014 https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/gm/h2020-guide-comm_en.pdf
6. EJP SOIL – projekt H2020. <https://ejpsoil.eu/knowledge-sharing-platform/ejp-soil-library/ejp-soil-national-webpages/biblioteka-krajowa-polska/> (dostęp 6.12.2021)

7. EU Funding & Tenders Portal: Online Manual: V1.0 – 08.02.2021, p. 65-66, https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/common/guidance/om_en.pdf
8. European Green Deal, strona KE: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
9. European Missions, A Soil Deal for Europe 100 living labs and lighthouses to lead the transition towards healthy soils by 2030. Implementation Plan , wrzesień 2021. https://www.ffg.at/sites/default/files/downloads/soil_mission_implementation_plan_final_for_publication.pdf
10. Executive Agency for Small and Medium sized Enterprises.: Making the most of your H2020 project: boosting the impact of your project through effective communication, dissemination and exploitation. 2019, DOI 10.2826/045684 , <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/3bb7278e-ebf3-11e9-9c4e-01aa75ed71a1>
11. F e l d y M.: Komunikacja naukowców z przedsiębiorstwami: różnice w sposobach upowszechniania wyników badań przez kobiety i mężczyźn. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Problemy Zarządzania, Finansów i Marketingu. 2015, (nr 40 Marketing przyszłości .Trendy. Strategie. Instrumenty. Komunikacja marketingowa w sferze publicznej i społecznej), s. 123-133.
12. F r e l i h - L a r s e n A., B o w y e r C., A l b r e c h t S., K e e n l e y s i d e C., K e m p e r M., N a n n i S., N a u m a n n S., M o t t e r s h e a d R. D., L a n d g r e b e R., A n d e r s e n E., B a n f i P., B e l l S., B r é m e r e I., C o o l s J., H e r b e r t S., I l e s A., K a m p a E., K e t t u n e n M., L u k a c o v a Z., M o r e i r a G., K i r e s i e w a Z., R o u i l l a r d J., O k x J., P a n t z a r M., P a q u e l K., P e d e r s o n R., P e e p s o n A., P e l s y F., P e t r o v i c D., P s a i l a E., Š a r a p a t k a B., S o b o c k a J., S t a n A. C., T a r p e y J., V i d a u r r e R.: ‘Updated Inventory and Assessment of Soil Protection Policy Instruments in EU Member States.’ Final Report to DG Environment. Berlin: Ecologic Institute. 2016. Dostęp internetowy: https://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/Soil_inventory_report.pdf (dostęp 5.12.2021).
13. Gemius, Mediapanel – badanie internetu za marzec 2021, <https://www.gemius.pl/wszystkie-artykuly-aktualnosci/wyniki-badania-mediapanel-za-marzec-2021.html> (dostęp 5.12.2021)
14. Geoportal Infrastruktury Informacji Przestrzennej www.geoportal.gov.pl (dostęp 5.12.2021)
15. Google Trends, <https://trends.google.pl/trends/explore?date=today%205-y&geo=PL&q=gleba> (dostęp 6.12.2021 r.)
16. J e d l i k o w s k a D.: Modele komunikacji naukowej. W stronę demokratyzacji nauki? Przegląd Socjologii Jakościowej, **16(3)**: 144-162. 2020. <https://doi.org/10.18778/1733-8069.16.3.09>
17. Joint Research Centre. 2021 <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soil-atlas-europe> (dostęp 5.12.2021 r.)
18. K o n i e c z n y P.: From adversaries to allies? The uneasy relationship between experts and the Wikipedia community, She Ji: The Journal of Design, Economics, and Innovation, 2021, **7(2)**: 151-170. <https://doi.org/10.1016/j.sheji.2020.12.003>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405872621000356>)
19. K o w a l i k M.: The importance of „Open Science” for agriculture. Polish Journal of Agronomy. 2020, **43**: 125-131. doi: <https://doi.org/10.26114/pja.iung.454.2020.43.12>, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/DOC/?uri=CELEX:52019DC0640&from=EN>
20. K u l c z y c k i E.: Otwarta nauka a komunikacja – perspektywa metateoretyczna. W: Komunikacja naukowa w humanistyce, E. Kulczycki (red.). Wydawnictwo Naukowe Instytutu Filozofii UAM, Poznań 2017, s. 67-86.
21. Portal Otwarte Dane: <https://dane.gov.pl/pl> (dostęp 6.12.2021)
22. Projekt Recare: Sustainable land care in Europe. <http://recare-hub.eu/> (dostęp 6.12.2021)
23. Rezolucja przyjęta przez Zgromadzenie Ogólne w dniu 25 września 2015 r., 70/1. Przekształcamy nasz świat: Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030. http://www.unic.un.org/files/164/Agenda%202030_pl_2016_ostateczna.pdf

24. Rodríguez-Eugenio N., McLaughlin M., Pennock D.: Soil Pollution: a hidden reality. Rome, FAO. 2018, pp. 142. <https://www.fao.org/3/I9183EN/i9183en.pdf>
 25. Świtoniak M., Augustyniak D., Charzynski P.: Internet as a source of soil knowledge. Bulletin of Geography. Physical Geography Series, 2018, **14**: 91-98. <http://repozytorium.umk.pl/handle/item/5221>.
 26. Wang Y.: The influence of virtual reality technology on the cultivation of agricultural students. Mobile Information Systems, vol. 2021, Article ID 7699106, pp. 8, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/7699106>
-

Adres do korespondencji:

dr Monika Kowalik
Dział Upowszechniania i Wydawnictw
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 4786733
e-mail: Monika.Kowalik@iung.pulawy.pl

AUTOR
Monika Kowalik

ORCID
0000-0001-9272-3246

Alina Bochniarz

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

TEMATYKA GLEBOZNAWCZA W WYDAWNICTWACH NAUKOWYCH IUNG-PIB*

Słowa kluczowe: Polish Journal of Agronomy, Studia i Raporty IUNG-PIB, otwarty dostęp

Wstęp

Właściwości gleb są uwzględniane w większości prac naukowych dotyczących rolnictwa, chociażby w opisie podstaw metodycznych prowadzonych badań. Są elementem, który łączy zagadnienia agrotechniczne i środowiskowe, bywają też obiektem zainteresowania mikrobiologii, biochemii, klimatologii, kartografii czy medycyny.

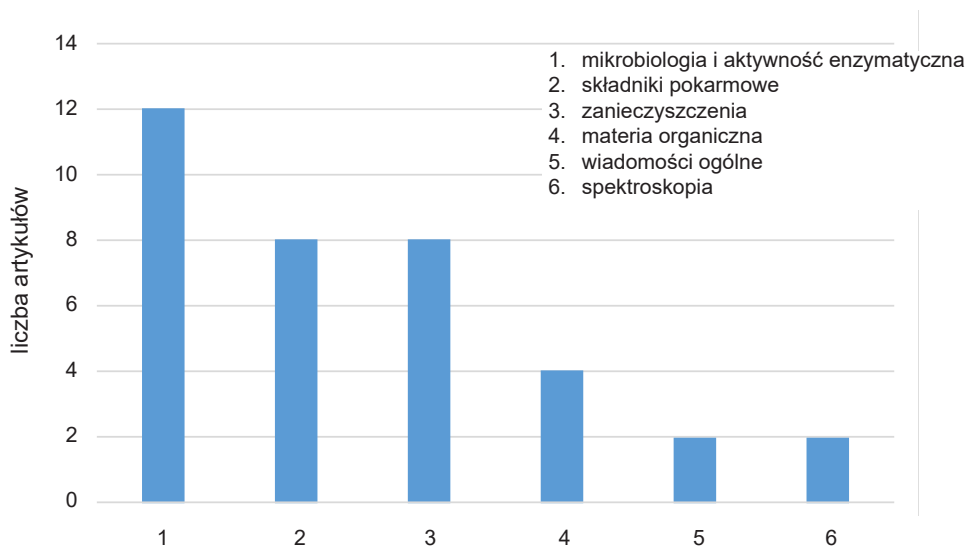
Celem opracowania jest omówienie i klasyfikacja tematyki gleboznawczej publikowanej w ostatnich latach w objętych pełnym dostępem wydawnictwach IUNG-PIB, zachęcenie czytelnika do korzystania z tych zasobów i ułatwienie wyszukiwania potrzebnych informacji. Do opracowania wybrano tylko artykuły, których tytuł odnosi się do właściwości gleb użytków rolnych i wpływu na nie różnych czynników. Zasygnalizowano jedynie zagadnienia podejmowane w publikacjach, bez podawania szczegółów, wyników i wniosków, które czytelnik może znaleźć bezpośrednio w cytowanym źródle. Materiał podzielono na zawartość czasopisma Polish Journal of Agronomy oraz serii Studia i Raporty IUNG-PIB.

Tematyka gleboznawcza w czasopiśmie Polish Journal of Agronomy (PJA) lata 2009–2020

Polish Journal of Agronomy, kontynuacja Pamiętnika Puławskiego, jest czasopiśmie naukowym wydawanym od 2009 roku. Obejmuje tematykę produkcji roślinnej i związanych z nią zagadnień środowiskowych. Uwzględnia prace doświadczalne

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.2 pt. „Gleby użytkowane rolniczo” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

i przeglądowe. Artykuły mają typowy układ pracy naukowej, ich celem jest wyjaśnienie powiązań przyczynowo-skutkowych badanych czynników lub usystematyzowanie wiedzy o wybranym zagadnieniu. Autorami są naukowcy z całej Polski, dlatego tematyka nie jest reprezentatywna dla działalności IUNG-PIB. W zakresie problematyki związanej z glebami czasopismo obejmuje wiele zróżnicowanych zagadnień (rys. 1).



Rys. 1. Zagadnienia uwzględnione w artykułach na temat gleb publikowanych w Polish Journal of Agronomy (jeden artykuł może być zaliczony do różnych kategorii)

Źródło: opracowanie własne

Dobrym wstępem do omówienia tematyki glebowej w PJA jest praca przeglądowa przygotowana na kongres nauk rolniczych w 2011 roku przez zespół autorski reprezentujący IUNG-PIB, Instytut Agrofizyki PAN, UMCS, Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN i SGS Eko-Projekt Sp. z o.o. z Pszczyny (41). W artykule zostały omówione różne funkcje gleby (produkcyjna, siedliskowa, retencyjna), zagrażające jej procesy, konieczność eliminacji lub zmniejszania tych zagrożeń. Autorzy podkreślili rolę współpracy instytucji naukowych w tej dziedzinie i ich dotychczasowy dorobek w odniesieniu do ochrony i racjonalnego wykorzystania gleb. Na tle ogólnego wstępu przedstawili sytuację w Polsce: zróżnicowanie i pochodzenie gleb (skała macierzysta, skład granulometryczny), które decyduje o ich potencjale, rolę materii organicznej i skutki spadku jej zawartości. Wspomnieli o, rzadko uwzględnianej, podatności gleb na zagęszczenie, ważnej szczególnie w przypadku stosowania ciężkiego sprzętu. Omówili zakwaszenie, które ogranicza wykorzystanie potencjału produkcyjnego gleb i przedstawili zagrożenie erozją wodną. Podkreślili niewielki udział gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi i siarką. Przedyskutowali przyczyny zmniejszania się powierzchni użytków rolnych i zmian struktury upraw. W podsumowaniu zapro-

ponowali kierunki badań i strategię ochrony gleb pozwalającą osiągać zakładane efekty gospodarcze, a jednocześnie utrzymać potencjał i realizować ich funkcje pozaprodukcyjne.

Jedną z cech pokrywy glebowej Polski jest jej znaczne zróżnicowanie. By umożliwić badania porównawcze, w IUNG-PIB stworzono obiekt doświadczalny, w którym zgromadzono charakterystyczne dla Polski gleby z zachowaniem nienaruszonego profilu. Obiekt ten został wykorzystany do porównania właściwości różnych gleb po blisko 100 latach użytkowania (79). Uwzględniono glebę brunatną dystroficzną, rędzinę brunatną, madę brunatną, glebę płową, czarną ziemię, glebę rdzawą i brunatną eutroficzną. Określono skład granulometryczny ich wierzchniej warstwy, pH w H₂O i KCl, zawartość próchnicy, zawartość węglanów i przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu oraz parametry mikrobiologiczne: aktywność dehydrogenaz, fosfatazy kwaśnej i zasadowej, liczebność bakterii ogółem i rodzaju *Azotobacter*, liczebność promieniowców i grzybów. Autorzy określili zależności między wybranymi właściwościami fizykochemicznymi i mikrobiologicznymi. Na podstawie porównania z uzyskanymi tymi samymi metodami danymi z 1994 roku stwierdzili, które cechy są stałe i wydzielili odrębne grupy typów gleb o zbliżonej pod tym względem charakterystyce.

Dla rolników ważna jest **zasobność gleby w składniki pokarmowe roślin**. Harasim i in. (23) podjęli tematykę zawartości azotu mineralnego w glebie, istotną zarówno ze względów produkcyjnych, jak i środowiskowych. Autorzy badali zawartość azotu mineralnego i jego przemiany w obiektach z mieszanką pastwiskową złożoną z koniczyny białej, kostrzewy łąkowej, życicy trwałej i tymotki łąkowej uprawianej na różnych glebach w różnych stanowiskach: na polu uprawnym po ziemniaku na oborniku, na użytku przemiennym po jęczmieniu jarym i na łące trwałej zagospodarowanej metodą pełnej uprawy. Oznacжали zawartość azotu azotanowego i amonowego wczesną wiosną i jesienią po wypasie ostatniego odrostu w warstwach gleby: 0–30, 30–60 i 60–90 cm. Wyniki przedstawili na tle warunków termiczno-opadowych w trzech latach użytkowania mieszanki. Na podstawie różnicy wartości w obu terminach określili potencjalną stratę azotu, która jest wskaźnikiem stopnia zagrożenia wód glebowo-gruntowych azotanami.

Innymi makroelementami zajmowali się Hury i in. (24). Uwzględnili dostępne na krajowym rynku granulowane nawozy azotowo-fosforowe produkcji polskiej, litewskiej i rosyjskiej o jednakowej deklarowanej zawartości składników. Nawozy były stosowane w różnych dawkach, w uprawie buraka cukrowego. Badano, jak ich użycie wpływa na zawartość przyswajalnych form fosforu i potasu oraz wymiennych form magnezu, a także pH gleby w warstwie 0–25 cm. Wyniki przedstawiono na tle warunków meteorologicznych w 4 latach prowadzenia doświadczenia.

Przedmiotem zainteresowania Banacha i in. (2) była zawartość fosforu w glebie na terenach zalewowych Lubelszczyzny. Do badań wybrano 7 typów gleb. Określono ogólną pulę fosforu i parametry, które mają znaczenie w przemianach i krążeniu tego pierwiastka – potencjał redoks, wilgotność, pH, zawartość N, Ca, Fe. Porównano

te dane dla gleb uprawianych i zlokalizowanych obok niepodlegających uprawie. W ten sposób oceniono ich zróżnicowanie i potencjalne zagrożenie eutrofizacją w przypadku powodzi.

Celem pracy Wiatrowskiej i Komisarek (96) było określenie zdolności retencyjnych oraz parametrów sorpcji fosforu w glebach płowych i czarnych ziemiach na Pojezierzu Poznańskim. Znajomość tych parametrów jest pomocna w prawidłowym bilansowaniu fosforu. Są one trudne do określenia laboratoryjnego, dlatego podjęto próbę ich oszacowania na podstawie właściwości gleby. Badania były prowadzone na 6 profilach zaklasyfikowanych jako gleba płowa zaciekowa opadowo-glejowa, gleba płowa gruntowo-glejowa, czarna ziemia z poziomem cambic oraz czarna ziemia murszasta. Oznaczono skład granulometryczny, zawartość C organicznego, kationową pojemność wymienną, zawartość tlenków żelaza i glinu oraz zawartość fosforu dostępnego dla roślin.

Tematykę bilansowania fosforu podjęła też Lemanowicz (47). Jej doświadczenie obejmowało różne kombinacje nawożenia P, K, Mg, Ca i S na 5 poziomach i na tle nawożenia saletrą amonową w uprawie pszenicy ozimej. Określano zawartość dostępnego fosforu oraz aktywność fosfatazy kwaśnej i zasadowej w czerwcu i październiku. Autorka przeanalizowała wpływ badanych czynników na te parametry i ich wzajemne powiązania. Stosunek fosfatazy zasadowej do kwaśnej uznała za dobry wskaźnik potrzeb wapnowania gleb.

W praktyce potrzebne są metody dające podstawy do precyzyjnego wyznaczania dawek fosforu, by pokryć potrzeby roślin i jednocześnie zapewnić utrzymanie rezerw glebowych na odpowiednim poziomie. Tu jaka i in. (91) testowali przydatność do tego celu metody Hedleya. Porównywali ją ze stosowaną standardowo w Polsce metodą Egnera-Riehma. Dane pochodziły z doświadczenia z uprawą pszenicy ozimej, pszenżyta ozimego i kukurydzy na kiszonce, nawożonych różnymi dawkami fosforu i różnymi nawozami fosforowymi (superfosfat potrójny i pojedynczy). Autorzy zbadali rozmieszczenie frakcji fosforu w glebie do głębokości 90 cm. Stwierdzili, że metoda Hedleya jest przydatna raczej do badań naukowych, szczególnie wieloletniego bilansowania fosforu.

Gondek i Kopeć (20) badali problem zaopatrzenia roślin w siarkę – ograniczenie emisji jej związków do atmosfery może powodować niedobór siarki w glebach, ale nadmierne dostarczanie jej w nawozach może prowadzić do zakwaszenia gleby. Autorzy badali w trzyletnim doświadczeniu wazonowym z pszenicą jarą wpływ nawozów siarkowych różnego pochodzenia na pH gleby, zawartość S w glebie oraz wymywanie tego pierwiastka. Dodatkowymi czynnikami doświadczenia było nawożenie NPK i wapnowanie.

Kraska (38) zajmował się mikroelementami. Badał wpływ różnych działań (uproszczeń w uprawie roli i wysiewu międzyplonów) na zawartość Zn, Cu, Mn, Fe w warstwie ornej. Doświadczenie prowadzono na rędzinie, o pH 7,35, w monokulturze pszenicy jarej. Analizy wykonywano zarówno wiosną, jak i jesienią, w kolejnych trzech latach. Wyniki pozwoliły określić zróżnicowanie reakcji poszczególnych

mikroskładników na badane czynniki i zmienność ich zawartości w czasie zarówno w ciągu roku, jak i kolejnych lat.

Wiele uwagi w pracach naukowych poświęca się **glebowej materii organicznej**. Krasuska i in. (42) badali sekwestrację węgla organicznego w glebie w warstwie 0–30 cm w ciągu 20 lat w różnych systemach uprawy dla roślin, które mogą być wykorzystywane do produkcji biopaliw. Szacowali również emisję N_2O . Użyli modelu DNDC, a dane glebowe pochodziły z badań 50 000 profili wzorcowych. Uwzględnili kukurydzę, pszenicę i rzepak oraz uprawę – pełną orną (z wariantem z przyoraniem słomy), ograniczoną i siew bezpośredni. Omówili również czynniki, które mogą powodować błędy w oszacowaniach z użyciem testowanego modelu.

Jedną z frakcji glebowej materii organicznej jest węgiel rozpuszczalny. Burzyńska (6) badała wpływ zaniechania użytkowania łąki na jego zawartość, porównując obiekty z runią koszoną i zostawianą na poletkach, z runią koszoną i usuwaną oraz z nawożeniem mineralnym. Próbki gleby były pobierane wczesną wiosną z głębokości do 15 cm, określano również pH w $CaCl_2$ i KCl.

Materia organiczna odgrywa również rolę w kontroli **zanieczyszczeń gleb**. Ukalska-Jaruga i in. (92) podjęły temat roli glebowej materii organicznej (MO) w procesach akumulacji trwałych zanieczyszczeń organicznych (TZO). W pracy przeglądowej opisały budowę i skład materii organicznej gleb, udział różnych frakcji MO w akumulacji TZO i procesy, jakim te zanieczyszczenia podlegają w trójfazowym układzie glebowym. Podkreśliły, że należy oprócz zawartości uwzględniać biodostępność, gdyż niektóre frakcje materii organicznej silnie wiążą TZO, co zmniejsza ich pobieranie i tempo rozkładu. Zwróciły uwagę na ograniczenia doświadczeń prowadzonych w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych i zaakcentowały potrzebę poszerzonych, wielokierunkowych badań środowiskowych gleb zanieczyszczonych omawianymi związkami.

Gleba może być też zanieczyszczona **metalami ciężkimi**. Mierzwa-Hersztek i Gondek (57) badali, jak nawożenie pomiotem ptasim i wytworzonym z niego biowęglem wpływa na zawartość mobilnych i związanych z materią organiczną form Cd i Pb. Pomiot i biowęgiel, o znanym składzie chemicznym i parametrach porowatości, były mieszane z powierzchniową warstwą gleby. Na tym podłożu była uprawiana mieszanka traw pastewnych. Po 7 miesiącach od aplikacji nawozu pobierano próbki glebowe z warstw 0–10, 10–20, 20–30 cm. Określano pH, przewodnictwo elektryczne, zawartość całkowitą azotu i węgla, zawartość całkowitą Cd i Pb oraz zawartość ich frakcji (mobilne, wymienne, związane z MnOx, związane z materią organiczną), kwasowość hydrolityczną i sumę kationów wymiennych.

Strępek i Telesiński (88) w doświadczeniu wazonowym badali wpływ selenu na ograniczenie toksyczności ołowiu. Testowali związki Se na 4. i 6. stopniu utlenienia. Określali aktywność oksydazy o-difenolowej w glebie oraz aktywność peroksydazy gwajakolowej i zawartość polifenoli w roślinach pszenicy jarej. Zbadali wpływ na nie ołowiu i modyfikację tej reakcji pod wpływem dodatku selenu.

Pasieczna (66) badała zawartość antymonu i bizmutu w glebach. Podstawą były próbki z warstwy ornej pól (do 20 cm) i z użytków zielonych (do 10 cm). Zostały pobrane z obszaru całej Polski, 1 próbka na 2 500 km². Autorka przeanalizowała zróżnicowanie zawartości tych pierwiastków w zależności od położenia geograficznego, wysokości, skały macierzystej. Podkreśliła, że chociaż są one rzadko badane, ich znaczenie jako zanieczyszczeń może wzrastać ze względu na wykorzystanie w przemyśle i medycynie weterynaryjnej.

Istotnym wskaźnikiem oceny jakości środowiska glebowego jest **aktywność enzymatyczna**. Furtak i Gałązka (15) w pracy przeglądowej omówiły podstawowe grupy enzymów działających w glebie (oksyreduktazy, enzymy cyklu azotowego, fosforowego i siarkowego, enzymy rozkładające węglowodany). Podały substraty i produkty prowadzonych przez nie reakcji, sposoby oznaczania oraz uwarunkowania działania. Podkreśliły znaczenie kompleksowego traktowania aktywności enzymatycznej gleby.

Romanowicz i Krzepińko (74) badały aktywność katalazy w glebie pod uprawą maliny. Próbki były pobierane z ryzosfery i ze strefy pozaryzosferowej w okresie owocowania roślin, a aktywność enzymu była określana metodą wolumetryczną. Autorki podkreśliły jej przydatność do celów demonstracyjnych.

Wiele prac dotyczy oddziaływania różnych czynników na **mikroorganizmy glebowe**. Pocięjowska i in. (70) badali wpływ sposobu przygotowania stanowiska pod pszenicę jarą na liczebność mikroorganizmów i aktywność biochemiczną gleby. Uwzględnili 10 wariantów sposobów przygotowania stanowiska od pełnej uprawy płużnej do siewu bezpośredniego, ich elementem była uprawa międzyplonów: łubinu z grochem i gorzycy białej. Analizy zostały wykonane przed siewem, w fazie 2–3 rozkrzewień, strzelania w źdźbło, kłoszenia i po zbiorze. Określono liczebność bakterii i grzybów oraz aktywność dehydrogenaz, fosfatazy kwaśnej i proteazy.

Natywa i in. (58) badali wpływ nawożenia azotem i deszczowania na liczebność w glebie bakterii z rodzaju *Azotobacter*. Tematykę wybrali ze względu na zakwaszające działanie nawozów azotowych i wzrost zainteresowania rolników nawadnianiem, szczególnie w gospodarstwach wysokoprodukcyjnych i do upraw wysokoplonujących. Rośliną testową była kukurydza. Dawki azotu wynosiły 0, 80 i 240 kg·ha⁻¹, deszczowanie stosowano, kiedy wilgotność gleby spadała poniżej 70% ppw. Próbki gleby z warstwy 0–20 cm pobierano przed siewem, w fazie 2–3, 7–8 liści, w pełni kwitnienia, w dojrzałości młeczkowej i po zbiorze. Wyniki przeanalizowano na tle warunków pogodowych w 3 okresach wegetacyjnych.

Martyniuk i in. (56) badali wpływ mieszanki paszowej zawierającej 20 i 40% koniczyny białej uprawianej po jęczmieniu jarym, ziemniaku na oborniku i zaoranej łące na aktywność mikrobiologiczną gleby. Wiosną i jesienią określali liczebność bakterii ogółem, liczebność bakterii z rodzaju *Azotobacter*, liczebność grzybów, aktywność dehydrogenazy i fosfatazy kwaśnej i zasadowej, a także pH.

Breza-Boruta (5) zajmowała się mikroorganizmami rozkładającymi materię organiczną, ważnymi w systemie ekologicznym jako czynniki udostępniające skład-

niki pokarmowe roślinom. Uwzględniła mikroorganizmy pektynolityczne z grup wytwarzających enzymy o różnych mechanizmach działania (poligalakturonazy i liazy pektynowe). Badania prowadziła przez 3 lata w uprawie ziemniaka w systemie ekologicznym i konwencjonalnym. Próbkę były pobierane przed sadzeniem, w fazie wschodów, kwitnienia i dojrzałości bulw. Oprócz liczby drobnoustrojów pektynolitycznych z obu grup określono skład granulometryczny, zawartość C organicznego, azotu ogólnego oraz zasobność gleby w P, K i Mg.

Martyniuk (55) poszukiwał odpowiedzi na pytanie, czy intensywne rolnictwo rzeczywiście prowadzi do degradacji gleby i niekorzystnie wpływa na jej aktywność mikrobiologiczną. W artykule wykorzystał m.in. wyniki porównania zasiedlenia gleb Polski przez bakterie z rodzaju *Azotobacter* na początku i pod koniec XX wieku. Wskazał, dlaczego racjonalne gospodarowanie sprzyja mikroorganizmom glebowym, i podał, jak błędy w agrotechnice mogą ograniczać ich aktywność. Podkreślił możliwości kompensacyjne i przystosowawcze zespołów drobnoustrojów glebowych pozwalające im funkcjonować w zmiennych warunkach pól uprawnych.

Kocoń i Jadczyzyn (34) badały wpływ komercyjnych preparatów mikrobiologicznych (EM, EmFarma Plus, UGmax) na chemiczne wskaźniki żyzności gleby pod uprawą zbóż. Dodatkowymi czynnikami doświadczenia były sposób stosowania preparatu i dawka azotu. W 3 latach badań po sprężeniu roślin pobierano próbki gleby z warstwy ornej. Oznaczano pH oraz zawartość przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu. Wyniki przeanalizowano na tle warunków pogodowych, zróżnicowanych w poszczególnych latach badań.

Gałązka (16) omówiła specyficzne produkty mikroorganizmów glebowych – glomaliny. Po wstępie teoretycznym, w którym scharakteryzowała źródła i znaczenie tych substancji, przedstawiła wyniki badań dotyczących wpływu systemu uprawy na ich zawartość w glebie. Porównywała system ekologiczny, integrowany i konwencjonalny. Próbkę gleby pobierano spod pszenicy ozimej, z warstwy 0–15 cm. Określano w nich zawartość glomalin ogólnych i łatwo ekstrahowalnych, ogólną zawartość węgla i azotu, ogólną liczebność bakterii i promieniowców, liczebność bakterii z rodzaju *Azotobacter*, liczebność grzybów i aktywność enzymatyczną gleby (dehydrogenaza, fosfataza kwaśna i zasadowa). W opracowaniu wyników uwzględniono korelacje między zawartością glomalin i wybranymi cechami gleby.

W artykułach publikowanych w PJA podejmowano też zagadnienia związane z wpływem gleby na zdrowotność roślin. Sobiczewski i in. (87) próbowali określić przyczynę zjawiska tzw. zmęczenia gleby w sadach jabłoniowych. Porównywali glebę z obiektów z 27-letnią uprawą jabłoni i glebę niewykorzystywaną do uprawy drzew owocowych. W próbkach pobranych z głębokości 15–30 cm określono skład granulometryczny, pH, zawartość fosforu, potasu i magnezu. Analizowali także liczebność grzybów i organizmów grzybopodobnych, a w próbkach z obiektów poddanych działaniu zabiegów fitosanitarnych (uprawa pszenicy ozimej i gorczycy białej, dodatek do gleby zmielonych nasion gorczycy) również ogólną liczbę bakterii i grzybów, grzybów patogenicznych, bakterii fluorescencyjnych zaliczonych do

rodzaju *Pseudomonas* i bakterii zarodnikujących zaliczonych do rodzaju *Bacillus*, grzybów należących do rodzaju *Trichoderma* i rzędu *Mucorales*.

Kowalska i Smolińska (35) badały możliwości ograniczenia występowania w glebie patogenu cebuli – bakterii *Burkholderia cepacia* przez dodatek nasion gorczycy sarepskiej i makuchu rzepakowego. Kontrolę stanowiły obiekty z zaprawianiem nasion cebuli Funabenem T i moczeniem siewek w zawieszynie grzyba *Trichoderma harzianum*. W kilku terminach określano w podłożu liczebność patogenu, liczbę grzybów, bakterii właściwych i promieniowców, bakterii przetrwalnikujących, bakterii *Pseudomonas*, w tym fluoryzujących.

Ciekawym zagadnieniem jest wykorzystanie gleby jako źródła szczepów bakteriujnych dla przemysłu. Pietraszek i Walczak (68) badali możliwość wykorzystania wyizolowanych z gleby szczepów bakterii *Bacillus* w produkcji biopreparatów. Określili ich aktywność amylolityczną oraz scharakteryzowali produkowane przez nie enzymy.

Kilka prac opublikowanych w PJA dotyczy **rozkładu herbicydów w glebie**. Kucharski i Sadowski (44) badali w doświadczeniu polowym wpływ adiuwantów Atpolan Bio 80 EC i Break Thru 240 EC na pozostałości fenmedifamu (herbicyd) w buraku cukrowym i w glebie. Próbkę gleby do oceny pozostałości pobrano w czasie zbioru roślin z warstwy 0–15 cm. Szybkość rozkładu herbicydu badano w próbkach pobranych od 1 h do 150 dni po jego aplikacji, a zdolność przemieszczania się w profilu glebowym – 6, 12 i 20 tygodni po aplikacji w warstwach gleby: 0–15, 16–30 i 31–50 cm.

Wpływ adiuwantów na herbicyd był również przedmiotem badań Kucharskiego i in. (45). W doświadczeniu polowym z burakiem cukrowym przedwzchodowo zastosowano lenacil w dawce zalecanej i obniżonej oraz trzy adiuwanty Atplus 60 EC, Break Thru S 240, BackRow. Próbkę gleby były pobrane w czasie zbiorów z warstwy 0–15 cm. Określono w nich zawartość lenacilu i przeanalizowano wpływ czynników doświadczenia na jego ilość.

Gregorczyk i Swarcewicz (22) badali zastosowanie modelu dwuwykładniczego do opisu zanikania atrazyny w glebie lekkiej. Pomiarzy stężenia atrazyny wykonano po 10, 50, 100, 128 i 188 dniach i porównano z wynikami testowanego modelu.

Ci sami autorzy badali kinetykę rozkładu linuronu w glebie lekkiej i średniej w łącznym stosowaniu z insektycydem Actara 25 WG i fungicydem Indofil 80 WP (21). Pomiarzy wykonano 7 razy w ciągu 90 dni eksperymentu. Autorzy ocenili przydatność analizy wariancji w układzie powtarzanych pomiarów do wydzielenia efektów głównych i interakcyjnych badanego procesu.

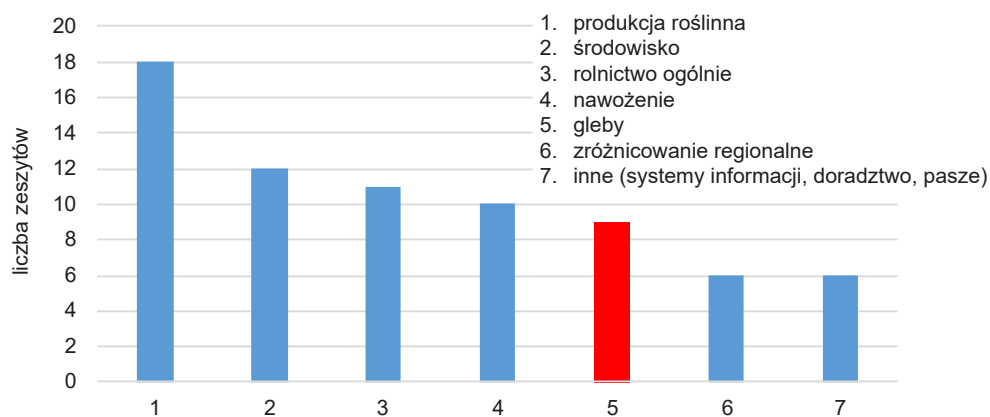
Do tematyki gleboznawczej można zaliczyć również prace dotyczące metod badawczych. Debaene i in. (9) oceniali możliwość wykorzystania spektroskopii emisyjnej (VIS-NIRS) w zakresie 400–2200 nm do określania pH gleby i zawartości frakcji ilastej, węgla organicznego i dostępnych form Mg, P, K w warstwie ornej gleby. Próbkę pochodziły z RZD w Baborówku. Porównano wyniki uzyskane przy zastosowaniu tradycyjnych metod laboratoryjnych oraz spektrofotometru Veris VIS-NIR.

Na tej podstawie autorzy określili, do jakich oznaczeń metoda spektrofotometryczna nadaje się najlepiej.

Kontynuacją tej tematyki jest praca Debaene (8). Autor omówił zasadę metody spektrofotometrycznej, jej zalety, możliwości zastosowania w badaniach rolniczych oraz czynniki, które mogą wpływać na wyniki. Porównał jej wykorzystanie w polskich, francuskich i światowych badaniach gleb. Podkreślił potrzebę tworzenia i rozwijania polskiej spektralnej biblioteki gleb i przedstawił na przykładach jej potencjalne zastosowania do badań w różnych skalach przestrzennych.

Tematyka gleboznawcza w serii *Studia i Raporty IUNG-PIB (SiR)* lata 2006–2020

Studia i Raporty IUNG-PIB są wydawane od roku 2006. Do 2020 roku zawierały opracowania powstające na podstawie badań prowadzonych w Instytucie w ramach programów wieloletnich realizowanych na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi (MRiRW). Każdy zeszyt serii ma oddzielny tytuł i jest opatrzony wstępem kierowników uwzględnionych w nim zadań. Treść poszczególnych artykułów jest w dużej mierze warunkowana zapotrzebowaniem MRiRW – charakteryzują wybrane aspekty rolnictwa Polski i UE, uwzględniają regulujące je akty prawne, zawierają przegląd wyników badań IUNG z danej tematyki, często wykorzystują unikatowe bazy danych Instytutu. Każdy artykuł zakończony jest krótkim podsumowaniem. Z wydanych do końca 2020 roku 64 zeszytów w opracowaniu uwzględniono 9, w całości poświęconych tematyce gleboznawczej (rys. 2).



Rys. 2. Tematyka podejmowana w serii *Studia i Raporty IUNG-PIB*
(jeden zeszyt może być zaliczony do różnych kategorii)

Źródło: opracowanie własne

Ogólnym wprowadzeniem do problematyki gleboznawczej może być artykuł Smreczak i in. (86), dotyczący **funkcji gleb**. Autorzy podali najczęściej wykorzystywane ich klasyfikacje i odnoszące się do nich akty prawne. Omówili badania IUNG dotyczące analizy zagrożeń w odniesieniu do gleb użytkowanych rolniczo. Podali wybrane wskaźniki jakości gleb: biologiczne, chemiczne i fizyczne, ich potencjalne wykorzystanie w różnych analizach środowiskowych, podkreślili potrzebę ich łącznej interpretacji. Jako przykład syntetycznej oceny podali m.in. ogólny wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Rozwinęli koncepcję usług ekosystemowych w znaczeniu ogólnym i odnoszącym się do gleb, uwzględniając usługi zaopatrzeniowe, regulacyjne, wspomagające i kulturowe. Zwrócili uwagę na potrzebę ich wyceniania i trudności metodyczne z nim związane.

Krasowicz i Matyka (39) podkreślili, że badania związane z **racjonalnym wykorzystaniem gleb** są jednym z kluczowych działań IUNG-PIB. W opracowaniu dotyczącym tej tematyki scharakteryzowali zasoby ziemi w Polsce i tendencje zmian w jej użytkowaniu, czynniki decydujące o potencjale produkcyjnym gleb, zagrożenia związane z urbanizacją oraz zmiany w rolnictwie spowodowane integracją z UE. Podkreślili konieczność uwzględniania wszystkich, również pozaprodukcyjnych, funkcji gleb i zapobiegania zjawiskom je zakłócającym. Za warunek konieczny ochrony i racjonalnego wykorzystania gleb uznali kompleksowe działania obejmujące badania naukowe, kształtowanie świadomości społecznej, monitoring zmian i wsparcie finansowe. Artykuł Krasowicza i in. (40) dotyczący programów wieloletnich realizowanych przez IUNG-PIB pokazuje, że problematyka związana z właściwościami, funkcjonowaniem i ochroną gleb użytków rolnych była istotnym elementem każdego z nich.

Do racjonalnego wykorzystania gleb nawiązuje również opracowanie Jadczyżyna i in. (27) dotyczące przeznaczania użytków rolnych na cele urbanizacyjne. Autorzy omówili ogólną sytuację w tym zakresie w Europie i przedstawili dokładniejsze dane dla wybranych miast Europy Środkowej, m.in. dla Wrocławia. Na podstawie badań własnych opisali te zmiany w Polsce, w odniesieniu do gleb dobrych, średnich i słabych, i ocenili skuteczność uregulowań prawnych w tym zakresie.

Podstawą wszystkich analiz są poprawne dane wyjściowe. Siebielec (76) omówił cele i podstawy prawne **badania monitoringowych gleb**. Opisał zasady, według których to zadanie jest realizowane w Polsce w ramach Monitoringu chemizmu gleb ornych Polski: częstotliwość, wyznaczanie punktów reprezentatywnych dla obszaru i pokrywy glebowej i procedura ich zmiany, sposób pobierania próbek indywidualnych i tworzenia próbki zbiorczej, dokumentacja położenia punktów pomiarowo-kontrolnych (fotografie, GPS). Lokalizacja 216 punktów monitoringowych została pokazana na mapie Polski. Autor podał listę 29 uwzględnionych w badaniach cech i metodykę ich określania w próbkach. Omówił przykładowe wyniki badań monitoringowych gleb w Polsce w odniesieniu do odczynu, zawartości materii organicznej, zawartości przyswajalnego fosforu, potasu, magnezu i siarki siarczanowej, zanieczyszczenia kadmem, ołowiem, cynkiem, miedzią i niklem.

Łopatka (50) podkreślił zalety międzynarodowych projektów monitoringowych i omówił projekt LUCAS. Jest on źródłem udostępnianych bezpłatnie danych dotyczących podstawowych parametrów związanych z glebami użytkowymi rolniczo. Autor określił reprezentatywność tej bazy w warunkach Polski przez porównanie uwzględnionej powierzchni gatunków gleb i kompleksów przydatności rolniczej z danymi polskiej mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25 000. Jako przykład wykorzystania danych przedstawił na mapach przestrzenną zmienność frakcji uziarnienia gleb, gatunków gleb, zawartości próchnicy, pH, zawartość kationów wymiennych, a także uwzględnił możliwość ich łączenia z danymi krajowymi z innych źródeł.

Lipiński (48) zadeklarował, że głównym zadaniem stacji chemiczno-rolniczych jest badanie gleb dla potrzeb doradztwa nawozowego, ale biorą one udział również w badaniach monitoringowych. Ochal (65), wykorzystując dane publikowane przez GUS pochodzące ze stacji chemiczno-rolniczych, omówił sytuację w Polsce pod względem podstawowych parametrów stanu żyzności gleb (pH, zawartość przyswajalnych form potasu, fosforu i magnezu). Dane zostały uporządkowane według województw i zilustrowane mapkami dotyczącymi zwykle skrajnych wartości danego parametru. Ciekawym podejściem jest przedstawienie tych zmian w ujęciu historycznym, od 1955 roku.

Chemiczne wskaźniki żyzności gleb Polski omówiła również Jadczyżyn (29), jednak wykorzystała dane pochodzące z 4000 punktów monitoringowych na gruntach ornych, z lat 2008 i 2012, pozyskane w ramach monitoringu azotanów. Uwzględniła pH w KCl, zawartość węgla organicznego, zawartość przyswajalnych form P, K i Mg. Omówiła i przedstawiła w tabelach dokładne statystyki dla poszczególnych województw, a na wykresach wartości przeciętne dla obu lat.

Zasobności gleb w podstawowe składniki dotyczy też częściowo praca Łopatki i in. (53). Autorzy omówili źródła składników pokarmowych, procesy, w których są uwalniane, różnice gleb uprawnych w stosunku do naturalnych, czynniki, również ekonomiczne, decydujące o nadmiarze lub braku składników w glebach uprawnych. Wyniki badań uwzględniają zawartość przyswajalnego P, K i Mg w warstwie ornej określonej na podstawie 41 536 próbek gleb z UR całej Polski.

Jadczyżyn (30) przedstawiła sposób bilansowania składników pokarmowych w gospodarstwie i wykorzystanie wyników analiz gleby w opracowywaniu planów nawożenia.

Rutkowska (75) omówiła przyczyny i skutki niezbilansowanego nawożenia fosforem i potasem w Polsce. Na przykładzie dwóch doświadczeń IUNG-PIB, w Grabowie i Baborówku, przedstawiła efekty zaprzestania nawożenia P i K, m.in. zubożenie gleby w przyswajalne formy tych pierwiastków.

Pecio i Jarosz (67) również odniosły się do zasobności i właściwości chemicznych gleb, ale z perspektywy wpływu na nie zabiegów uprawowych. Podstawą wnioskowania jest metaanaliza z ponad 700 prac prezentujących wyniki wieloletnich doświadczeń prowadzonych w całej Europie, w zróżnicowanych warunkach klimatycznych i glebowych. Autorki określiły wpływ agrotechniki (zmianowanie,

międzyplony, uproszczenia uprawowe, nawożenie mineralne i organiczne – komposty, obornik, gnojowica, przyorywanie resztek poźniwnych) na odczyn, zasoby składników pokarmowych, stosunek C:N. Szczególną uwagę poświęciły znaczeniu ograniczenia intensywności zabiegów uprawowych w zapobieganiu mineralizacji materii organicznej. Przedstawiły skutki tych działań, zarówno pozytywne, jak i negatywne, oraz uszeregowały porównywane zabiegi według stopnia ich wpływu na zmiany badanych parametrów.

Podleśna (71) na podstawie przeglądu literatury omówiła wpływ różnych form nawożenia siarką na odczyn gleby oraz zawartość w niej makro- (N, P, K, Ca, Mg) i mikroelementów (Zn, Mn, Cu, Fe, Mo).

Prowadzone są również badania nad możliwością modyfikowania właściwości fizykochemicznych gleby przez zastosowanie preparatów mikrobiologicznych. Kocoń i Gałązka (33) przeanalizowały wpływ 3 najpopularniejszych preparatów z pożytecznymi mikroorganizmami: EM, EmFarma oraz Użyźniacza Glebowego UGmax na pH oraz zawartość przyswajalnego P, K, Mg w glebie w doświadczeniu polowym. Dodatkowymi czynnikami był sposób stosowania preparatu i dawka azotu.

Duży udział w publikacjach SiR mają zagadnienia związane z **materią organiczną gleb**. Kuś (46) opisał rolę próchnicy glebowej w zachowaniu żyzności gleb i jej funkcję w sekwestracji węgla. Omówił skład glebowej materii organicznej i jej wpływ na fizyczne, fizykochemiczne i biologiczne właściwości gleby, podał naturalne i antropogeniczne czynniki wpływające na jej zawartość. Podkreślił specyfikę oceny zawartości materii organicznej w Polsce związaną z dużym udziałem gleb lekkich i przedstawił wpływ zmian w sposobie użytkowania gruntów na tę cechę. Omówił sposób bilansowania materii organicznej w gospodarstwie i na powierzchni pola z wykorzystaniem współczynników reprodukcji i mineralizacji. Przedstawił bilans glebowej materii organicznej dla Polski i dla poszczególnych województw, a bilansowanie na poziomie gospodarstwa pokazał na przykładzie 6 gospodarstw o różnych kierunkach produkcji, strukturze zasiewów i warunkach siedliskowych. Zwrócił uwagę na znaczenie słomy w regeneracji zasobów materii organicznej w gospodarstwach bezinwentarzowych i omówił inne praktyki rolnicze korzystnie oddziałujące na zawartość węgla organicznego w glebie.

Siebielec i in. (77) oprócz omówienia roli materii organicznej w glebie i wpływu praktyk rolniczych na jej bilans podali możliwe do wykorzystania egzogenne źródła węgla (obornik i gnojowica, osady ściekowe komunalne i z przemysłu spożywczego, inne odpady biodegradowalne/organiczne przemysłowe, m.in. poferment, komposty, biowęgiel) i przeanalizowali ich dostępność w różnych rejonach kraju. Autorzy zwrócili jednak uwagę na ryzyko związane z ich stosowaniem, wynikające m.in. z zawartości antybiotyków, farmaceutyków, hormonów, nanocząstek, mikroplastiku. W pracy zostały omówione programy dostarczające danych o zawartości materii organicznej w glebach i wygenerowane na ich podstawie mapy zawartości materii organicznej w glebach UR Polski dla lat 1992–1997 i 2016–2020. Określenia zmian zawartości materii organicznej w glebach autorzy dokonali na podstawie

analizy 570 profili wzorcowych z 4 województw, porównując dane z lat 1960–1980 i 2010–2019, a do wyjaśnienia wpływu rolnictwa na te zmiany wykorzystali model RothC użyty do mniejszego obszaru testowego. Podkreślili znaczenie Monitoringu chemizmu gleb ornych Polski jako źródła wiedzy o zawartości próchnicy w glebach kraju.

Podobne informacje w nieco innym ujęciu pojawiają się w pracy Ukalskiej-Jarugi i in. (93). Autorki omówiły źródła, skład i procesy, jakim podlega materia organiczna, ciekawe jest syntetyczne ujęcie wpływu materii organicznej na fizyczne, chemiczne i biologiczne właściwości gleby. Przedstawiły działania wpływające na zawartość materii organicznej w glebie oceniane przez pryzmat sekwestracji węgla i emisji CO₂. Praca zawiera też analizę zawartości materii organicznej na podstawie monitoringu, ale autorki podkreślają, że sama zawartość nie jest wystarczającym wskaźnikiem i w ocenach należy uwzględniać aspekty jakościowe.

Dane z monitoringu gleb dotyczące zawartości węgla organicznego wykorzystali też Faber i in. (12), ale ich artykuł obejmuje dokładne opracowanie statystyczne ich zmienności w czasie (dla kolejnych tur analiz) i porównanie z danymi z innych źródeł. Autorzy określili również warunki pozyskiwania danych umożliwiające efektywną analizę dynamiki zmian zawartości materii organicznej w glebach Polski i ocenili przydatność obecnego monitoringu, opartego na stosunkowo niewielkiej liczbie próbek, do inwentaryzacji emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa.

Łopatka (49) przeanalizował możliwości wykorzystania do modelowania zmian zawartości materii organicznej w glebach bazy danych paneuropejskiego monitoringu LUCAS, uwzględniającej m.in. wilgotność gleby (określoną na podstawie bilansu wody), strukturę zasiewów, obsadę inwentarza i odczyn gleb.

Niedźwiecki i Łopatka (62) omówili wskaźnik fizycznej jakości gleby – S. Podali metodykę jego wyznaczania i właściwości gleby, które uwzględnia. Przedstawili jego zróżnicowanie w Polsce i wyliczyli średnie wartości dla województw. Podkreślili związek wskaźnika S z zawartością materii organicznej i możliwość jego wykorzystania w ocenie jej zmian.

Kuś (46) podkreślał rolę słomy w gospodarstwach bezinwentarzowych, szerzej tę tematykę omówiła Pikuła (69). Jej opracowanie dotyczy produkcji i wykorzystania słomy w Polsce. Autorka przedstawiła zawartość składników pokarmowych i wartość nawozową słomy w zależności od pochodzenia, sposoby jej stosowania na polu, wpływ niektórych czynników (wilgotność, temperatura, stopień rozdrobnienia, głębokość przyorania, pH) na szybkość jej rozkładu. Podkreśliła konieczność korekty nawożenia azotem w przypadku przyorania słomy. Podała na podstawie literatury i wyników badań własnych przykłady wpływu nawożenia słomą na właściwości gleby i plonowanie roślin. Omówiła również możliwe niekorzystne oddziaływanie tego zabiegu, ujawniające się głównie przy zbyt uproszczonych zmianowaniach.

Problematyką, której ostatnio poświęca się dużo uwagi jest **bioróżnorodność gleb**. Siebielec i Siebielec (78) przedstawili jej definicję, rolę w przyrodzie i znaczenie dla produkcji rolnej. Do analizy wybrali podział organizmów glebowych ze względu

na rozmiar: mikroflora, mikrofauna, mezofauna, makrofauna, i scharakteryzowali te grupy. Opisali wpływ czynników abiotycznych i związanych z produkcją rolną na bioróżnorodność gleby, zagrożenia, zabiegi i techniki zapobiegające jej utracie w glebach rolnych. Podkreślili, że spadek bioróżnorodności może być zarówno przyczyną, jak i skutkiem degradacji gleby.

Najwięcej uwagi w zakresie bioróżnorodności gleb poświęca się mikroorganizmom. Gałązka i Kocoń (19) badały w Grabowie w latach 2012–2014 wpływ preparatów z mikroorganizmami pożytecznymi EM, EmFarma Plus, UGmax na mikroorganizmy glebowe. W glebie oznaczano ogólną liczebność: drożdży, grzybów, bakterii i promieniowców, bakterii mlekowych, koptotroficznych, oligotroficznych, bakterii z rodzaju *Azotobacter*, amonifikacyjnych oraz rozkładających fosforany. Określono także ogólną biomasę mikroorganizmów i zawartość w niej węgla i azotu. W omówieniu wyników oprócz wpływu badanych czynników i lat badań na liczebność drobnoustrojów podano charakterystykę, wymagania siedliskowe i znaczenie wybranych grup mikroorganizmów w glebie i dla roślin.

Kozieł i Gałązka (36) badały bakterie mające zdolność uruchamiania fosforu w glebie ze źródeł niedostępnych dla roślin. Wykrywa się je dzięki ich zdolności wykorzystania fosforanu wapnia $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Oznaczono ich ogólną liczebność w warstwie do 20 cm w 182 próbkach gleb pobranych w ramach krajowego monitoringu chemizmu gleb z różnych województw. Autorki przeanalizowały związek wyników z typem i gatunkiem gleby, a także lokalizacją w Polsce.

Tematyka udostępniania fosforu została podjęta również w pracy Gałązki i in. (17). Autorki przebadaly wpływ 3 dostępnych w handlu preparatów mikrobiologicznych: EM, EmFarma Plus, UGmax na potencjał mineralizacji fosforu w glebie. Czynnikiem trzyletniego doświadczenia prowadzonego w RZD Grabów obok rodzaju preparatu był sposób jego stosowania i dawka azotu. W glebie pod uprawą pszenżyta, pszenicy ozimej i jęczmienia jarego oznaczono ogólną liczebność drobnoustrojów rozpuszczających $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, aktywność fosfatazy kwaśnej i zasadowej. Wyniki przedstawiono na tle danych literaturowych dotyczących przemian fosforu w glebie.

Gałązka i Kocoń (18) omówiły również wpływ dodatku wymienionych preparatów na szerzej ujętą aktywność enzymatyczną gleby. Przedstawiły rolę poszczególnych grup enzymów glebowych, warunki ich aktywności, znaczenie w krążeniu pierwiastków w glebie. Na tej podstawie zinterpretowały efekt wpływu dodatku preparatów mikrobiologicznych na badane parametry.

Głównym celem badań Kozieł i in. (37) była izolacja nowych szczepów *Rhizobium* i ocena ich efektywności symbiotycznej, ale obejmowały one również analizy gleby spod upraw bobiku i grochu w 3 miejscowościach w okolicach Puław. W próbkach gleby z warstwy 0–15 cm określono pH, skład granulometryczny, aktywność dehydrogenaz, fosfatazy kwaśnej i zasadowej, ogólną liczebność bakterii właściwych i promieniowców, ogólną liczebność *Azotobacter*. Uzyskano dane charakteryzujące glebę pod ekstensywną uprawą roślin strączkowych.

W glebie mogą bytować również bakterie chorobotwórcze dla ludzi i zwierząt. Abramczyk i Gałązka (1) badali występowanie pałeczek *Salmonella* i *Escherichia coli*. Stwierdzili, że gleba może być ich rezerwuarem, chociaż nie jest naturalnym miejscem ich aktywności. Wymienili potencjalne źródła tych drobnoustrojów w środowisku glebowym.

Organizmy glebowe należące do **mezofauny** zostały omówione tylko w jednej pracy. Feledyn-Szewczyk i in. (13) badali dżdżownice występujące w glebach uprawnych. Na podstawie literatury scharakteryzowali tę grupę zwierząt. Przyjęli podział gatunków ze względu na głębokość, na jakiej są aktywne – od dżdżownic gatunków ściółkowych do drążących głębokie korytarze. Podali ich przykłady, opisali wygląd, wielkość, siedlisko, długość życia, rodzaj pokarmu, intensywność rozmnażania, wrażliwość na światło. Przedstawili również czynniki wpływające na ich liczebność i kondycję w glebach uprawnych. Do głównych funkcji dżdżownic w rolnictwie zaliczyli: polepszanie struktury gleby, wprowadzanie do niej materii organicznej, polepszanie gospodarki wodnej, koncentrację składników pokarmowych, zwiększanie aktywności mikrobiologicznej i produkcję stymulatorów wzrostu roślin. W opisie wpływu zabiegów agrotechnicznych na liczebność i skład gatunkowy dżdżownic wykorzystali wyniki własne doświadczenia prowadzonego w Osinach. Określono w nim liczbę i świeżą masę dżdżownic w przeliczeniu na 1 m². Próbkę gleby do analiz pobierane były spod pszenicy ozimej uprawianej w systemach konwencjonalnym (wariant ze zmianowaniem i z monokulturą), integrowanym i ekologicznym oraz z upraw wierzby, miskanta i ślazuca. Wyniki pozwoliły porównać wpływ systemu produkcji i uprawianych gatunków na badane parametry.

Niezależnie od tematyki badań wnioskowanie musi opierać się na prawidłowo pozyskanych danych. Podstawą wielu analiz wykonywanych w IUNG-PIB jest **mapa glebowo-rolnicza w skali 1:25 000**. Jadczyzsyn i Smreczak (28) opisali, w jaki sposób doszło do jej stworzenia. Wychodząc od koncepcji jej powstania, przedstawili wykorzystane źródła danych, wybrane parametry i zasady ich generalizacji, metodę kreślenia od strony technicznej, sposób uzupełniania zawartości mapy w aneksach glebowych, przekształcanie mapy z postaci analogowej do cyfrowej. Autorzy podali też przykłady wykorzystania mapy w badaniach i ekspertyzach: m.in. opracowanie wskaźnika waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej, wydzielenie obszarów o niekorzystnych warunkach gospodarowania (ONW), wyznaczenie obszarów problemowych rolnictwa. Mapa jest ciągle wykorzystywana przez System monitoringu suszy rolniczej. Autorzy przedstawili potencjalne możliwości jej zastosowania i doskonalenia z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi i możliwość integracji z zewnętrznymi bazami danych.

Również Pudełko (73) zajmował się sposobami odwzorowania danych analiz glebowych, kiedy oznaczenia są wykonywane w próbkach z kilku miejsc, a wyniki trzeba odnieść do obszaru. Autor opisał metody interpolacji i ich wpływ na efekt odwzorowania zróżnicowania zawartości składnika czy innej cechy, czynniki, które

trzeba uwzględnić przy ich wyborze: m.in. specyfikę gleby, zmienność gleb, wielkość obszaru, możliwość pobrania próbek. Podkreślił, że nie ma jednej dobrej metody, każdorazowo trzeba dopasować ją do indywidualnych warunków. Tworzenie map zawartości składników jest przydatne np. w rolnictwie precyzyjnym. Takie działania ułatwiają obecnie nowoczesne metody interpolacji i źródła danych, np. zdjęcia satelitarne.

Do tematyki tej nawiązuje też opracowanie Dobersa (11). Autor podał i przetestował sposoby poprawy dopasowania tradycyjnego pobierania próbek z wykorzystaniem pozycjonowania satelitarnego.

Natomiast Łopatka i in. (52) przedstawili autorską metodę interpolacji i możliwości jej wykorzystania w generowaniu map zagrożeń dla jakości gleby.

Łopatka i Koza (51) wykorzystali dane z różnych źródeł do wydzielenia **obszarów o niekorzystnych warunkach gospodarowania** (ONW). Zgodnie z przyjętą metodyką, w zakresie gleb uwzględnili: nadmierne uwilgotnienie, ograniczony drenaż, niekorzystną teksturę i kamienistość, niekorzystne właściwości chemiczne (zakwaszenie, zasolenie). Konieczne było również wykorzystanie charakterystyki klimatu i ukształtowania terenu. Analizą objęli obszar Polski i UE, a wyniki opisali i przedstawili na mapach.

Obszary problemowe rolnictwa są szczególnie narażone na degradację gleb. Jadczyzyn i Koza (26) przeanalizowali wdrażanie na nich pakietów rolnośrodowiskowych, między innymi „ochrona gleb i wód”. Zauważyli tendencje zmniejszenia zainteresowania tymi działaniami i podkreślili potrzebę poszukiwania rozwiązań, które te niekorzystne relacje odwrócą.

Zakwaszenie jest jednym z czynników ograniczających potencjał produkcyjny gleby. W pierwszym numerze SiR Fotyma i Igras (14) przedstawili potrzeby wapnowania w Polsce, oszacowali jego koszty i podkreślili, że odkwaszanie gleb jest procesem ciągłym, a zabiegi tego typu wymagają ponawiania. Zaproponowali powołanie narodowego i regionalnych programów wapnowania gleb.

Smreczak i in. (84) również omówili ten problem w odniesieniu do Polski. Podali przyczyny zakwaszenia, procesy, jakie wywołuje oraz jego wpływ na funkcję produkcyjną i środowiskową gleby. Przedstawili obszary ryzyka na użytkach rolnych w Polsce wyznaczone z uwzględnieniem kryterium pH w KCl $\leq 5,5$ w warstwie do 20 cm i kategorii agronomicznej gleby. Porównali sytuację dla lat 1992–1997 i 2014. Przeanalizowali również wyniki uzyskane z zastosowaniem proponowanego nowego kryterium, pH w $\leq 5,0$, wyrażającego kwasowość aktualną.

Innym problemem jest **zanieczyszczenie gleb azotanami**. Łopatka i in. (53) omówili sytuację w Polsce na podstawie stężenia azotanów w wodach drenarskich z 1697 lokalizacji. Zbadali też i podali w postaci równań regresji zależności między zawartością azotanów a nawożeniem i obsadą zwierząt.

Procesem prowadzącym do degradacji gleby jest jej **nadmierne zagęszczanie**. Czyż i in. (7) do głównych przyczyn tego zjawiska zaliczyli wykorzystanie w produkcji ciężkiego sprzętu bezpośrednio na polach i nieodpowiednie systemy uprawy roli.

Opisali, jakie cechy zwiększają podatność gleby na zagęszczenie i jak się ją ocenia. Podali, jakie parametry ulegają pogorszeniu w glebach nadmiernie zagęszczonych i jakie są tego skutki produkcyjne i środowiskowe. Ostrzegli, że zmiany dotyczące głębszych warstw są praktycznie nieodwracalne. Zaproponowali najbardziej efektywne metody i zabiegi przeciwdziałające nadmiernemu zagęszczeniu gleb i przedstawili wyniki badań tego procesu przeprowadzone na wybranych obiektach o zróżnicowanej charakterystyce.

Jadczyzyn i Bartosiewicz (25) zajęli się innym czynnikiem prowadzącym potencjalnie do degradacji gleb – ich osuszeniem. Opisali klimat Polski pod względem możliwości odnawiania zasobów wodnych, źródła wody dla roślin rolniczych, możliwości retencyjne różnych gleb. Przeanalizowali wpływ różnych działań człowieka na poziom wód. Określili tereny, na których obecnie najintensywniej zachodzą **procesy stepowania i pustynnienia gleb** i opisali ich skutki produkcyjno-środowiskowe. Przeprowadzili przestrzenną ocenę degradacji gleb organicznych i mineralnych w wyniku osuszenia. Wydzielili kategorie gleb podatnych na suszę i określili ich udział w Polsce. Przedstawili występowanie suszy rolniczej w odniesieniu do gleb mineralnych oraz organicznych i pochodzenia organicznego, a także sposoby polepszenia retencji wód na gruntach rolnych.

Do tej tematyki nawiązuje też praca Smreczak i in. (83) dotycząca odwadnianych gleb łąkowych. Autorzy podkreślili rolę torfowisk w sekwestracji węgla i przedstawili zagrożenia związane z murszeniem. Przeanalizowali na przykładzie trzech obszarów pilotażowych zmiany miąższości warstwy organicznej oraz zawartości materii organicznej w glebach torfowych pod Tuz po 50 latach użytkowania. Porównanie takie było możliwe dzięki bazom danych tworzonym i aktualizowanym przez IUNG.

Czynnikiem degradowującym glebę mogą być również **zanieczyszczenia chemiczne**. Maliszewska-Kordybach i in. (54) podali ogólne informacje dotyczące źródeł zanieczyszczeń, ich podział, drogi migracji, obszary najbardziej na nie narażone. Omówili zróżnicowane kryteria stosowane w ocenie zanieczyszczenia gleb w krajach Unii Europejskiej oraz trudności związane z opracowaniem jednolitego dla UE systemu klasyfikacji zanieczyszczenia gleb. Przedstawili standardy oceny stosowane w Polsce uwzględniające sposób użytkowania gruntów. Wykorzystując bazy danych IUNG pochodzące z realizacji różnych projektów monitoringowych, opracowali analizę stanu zanieczyszczenia gleb w Polsce. Uwzględnili metale (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) i trwałe zanieczyszczenia organiczne: wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne oraz związki chloroorganiczne obejmujące DDT i lindan. Zidentyfikowali czynniki, od których zależy poziom zanieczyszczenia i zaproponowali uwzględnienie w ocenie jego stopnia kryteriów opartych na analizie ryzyka ekologicznego oraz ryzyka dla zdrowia człowieka.

Smreczak i Jadczyzyn (80) przypomnieli wyniki prowadzonych w całym kraju według jednakowej metodyki badań gleb użytkowanych rolniczo w latach 1992–1997 obejmujące zawartość siarki i pierwiastków śladowych oraz odczyn. Podali przykłady ich wykorzystania w projektach regionalnych i ogólnopolskich.

Uzupełnieniem i aktualizacją tej tematyki jest praca Smreczak i in. (85). Autorzy na podstawie danych pochodzących z Monitoringu chemizmu gleb ornych Polski określili zmiany zawartości kadmu, ołowiu, cynku i benzo(a)pirenu w wierzchniej warstwie gleb w dwudziestoletnim okresie (1995–2015) i przedstawili je na tle regulacji prawnych dotyczących zawartości dopuszczalnych.

Biodostępnością trwałych zanieczyszczeń organicznych zajmowali się Smreczak i in. (82). Opisali właściwości TZO oraz ich potencjalny wpływ na zdrowie człowieka i środowisko. Podkreślili, że do oceny stopnia zanieczyszczenia parametrem lepszym od zawartości jest biodostępność, która jest wynikiem skomplikowanych zależności między glebą, zanieczyszczeniem, innymi substancjami obecnymi w glebie, organizmami żywymi, czynnikami środowiskowymi. Podali chemiczne i biologiczne metody oznaczania frakcji biodostępnej TZO w glebach i omówili ich ograniczenia. Przedstawili też wykorzystanie oceny biodostępności do określenia ryzyka ekologicznego.

Przeglądu metod jego oceny stosowanych na świecie dokonały Klimkowicz-Pawlas i in. (32). Do przetestowania w praktyce wybrały skomplikowaną procedurę ERA i wykorzystały ją do oceny gleb użytkowanych rolniczo z terenu narażonego na skażenie WWA.

Jednym z problemów w ocenie zagrożenia stwarzanego przez zanieczyszczenia jest zmienność ich działania w obecności innych substancji lub pod wpływem różnych czynników środowiskowych. Badania takich zjawisk prowadziła Suszek-Łopatka (89). Są one bardzo trudne ze względu na liczne interakcje – oddziaływania addytywne, synergistyczne i antagonistyczne, których pominięcie może prowadzić do błędnych wniosków. Jako przykład autorka podała m.in. wyniki badań prowadzonych w IUNG-PIB nad toksycznością fenantrenu dla bakterii nitryfikacyjnych.

Do zanieczyszczeń organicznych można zaliczyć też większość środków ochrony roślin. Kucharski (43) podał wyniki badań monitoringowych IUNG obejmujących 32 substancje czynne herbicydów i potencjalne przyczyny przekroczeń ich dopuszczalnych poziomów w glebie. Opisał badania modelowe obejmujące rozkład i przemieszczanie się substancji w środowisku glebowym i wodnym, ocenę ich trwałości i mobilności w glebie prowadzone w doświadczeniach laboratoryjnych i polowych. Przeanalizował czynniki wpływające na te parametry związane z charakterystyką chemiczną preparatu, sposobem stosowania, warunkami glebowymi i gatunkiem chronionej rośliny.

Do zanieczyszczeń gleby należą również pierwiastki śladowe. Smreczak i in. (81) przedstawili wyniki badań zanieczyszczenia cynkiem, ołowiem, kadmem i arsenem gleb w rejonie Olkusza. Podali czynniki decydujące o poziomie zanieczyszczenia i opisali sposoby określania biodostępności w odniesieniu do metali.

Baran i in. (3) analizowali zawartość rtęci w glebach woj. małopolskiego, z miejsc o różnym użytkowaniu, w tym gruntów ornych i użytków zielonych. Podali chemiczną charakterystykę rtęci, związki, jakie tworzy, czynniki wpływające na jej przemieszczanie się w glebach, źródła naturalne i antropogeniczne oraz opisali tok-

syczość dla organizmów żywych. Badania własne obejmowały 320 uśrednionych próbek gleby z poziomu do 10 cm. Określono ich skład granulometryczny, oznaczono pH, zawartość węgla organicznego oraz rtęci. Przeanalizowano zależności między zawartością Hg i badanymi właściwościami gleb oraz sposobem użytkowania terenu. Wyniki oznaczeń zostały przedstawione na mapce, określono też miejsca, gdzie zawartość rtęci przewyższa tło geochemiczne.

Istotnym czynnikiem wpływającym na możliwości wykorzystania gleb jest **erozja**. Kompleksowe opracowanie Nowocienia (63) dotyczy erozji wodnej, wąwozowej i wietrznej. Autor przedstawił naturalne i antropogeniczne czynniki ją wywołujące, skutki erozji i ich trwałość, uwarunkowania naturalne: cechy klimatu, ukształtowanie terenu, podatność gleb, decydujące o jej intensywności. Podał metody oceny erozji potencjalnej i jej ujęcie przestrzenne w Polsce. Opisał techniczne metody zmniejszania erozji i podkreślił, że powinny być uwzględniane w planach zagospodarowania przestrzennego na terenach wiejskich.

Podobnej tematyki dotyczy artykuł Nowocienia i Wawera (64). Autorzy opisali sposób oceny potencjalnej erozji wodnej (powierzchniowej i wąwozowej) na obszarach rolnych, a wyniki dla Polski przedstawili w ujęciu geograficznym krain fizjograficznych. Ocena zagrożenia pozwoliła wydzielić obszary, na których działania przeciwoerozyjne są najpilniejsze.

Informacje dotyczące zagrożenia erozją wodną powierzchniową i wąwozową oraz wietrzną znajdują się też w najnowszym opracowaniu Wawera i Nowocienia z 2018 roku (94).

Woch (98) opisał na przykładzie wybranych obiektów urządzeniowe metody ograniczania erozji na terenach wiejskich. Uwzględnił wpływ: scalania gruntów (rozmieszczania działek), rozmieszczenia dróg rolniczych w rzeźbie terenu, zmianę użytkowania gruntów (rolnicze/leśne/TUZ), melioracje wodne, lokalizację terenów budowlanych, wydzielenia terenów chronionych itp. Podkreślił, że najlepsze efekty w ograniczaniu erozji przynoszą działania kompleksowe.

W innym opracowaniu Woch (97) przeanalizował aspekt ekonomiczny ochrony gleb przed erozją w procesie urządzeniowym. Wyliczył na przykładzie danych z wybranych obiektów, po jakim czasie koszty inwestycji się zwracają i które zabiegi przeciwoerozyjne są najefektywniejsze.

Podolski (72) omówił podstawowe zabiegi przeciwoerozyjne związane z uprawą roślin i użytkowaniem rolniczym terenu.

Trzy prace, zamieszczone w 10. numerze SiR, dotyczą możliwości wykorzystania zadrzewień śródpolnych w ograniczaniu erozji. Autorzy opisują m.in. dobór gatunków drzew i krzewów, sposoby zakładania zadrzewień, ich rodzaje i funkcje, w tym związane z poprawą warunków glebowych (4, 31, 95).

Szewrański (90) omówił akty prawne związane z ochroną gleb przed erozją w Polsce i UE, zarówno historyczne, jak i aktualne dla czasu publikacji.

W ocenie zjawisk przestrzennych związanych z glebą duże znaczenie ma możliwość szybkiego pozyskiwania różnorodnych danych. Niedźwiecki i Debaene (59)

przedstawili metodę **spektroskopii** w bliskiej podczerwieni i w świetle widzialnym (VIS-NIRS) i jej gleboznawcze zastosowanie. Jako przykład posłużyło im określenie zawartości węgla organicznego w skali pola, w Stacji Doświadczalnej IUNG-PIB w Baborówku. Porównali wyniki uzyskane metodami klasycznymi i testowaną metodą. Omówili wady i zalety stosowania spektroskopii VIS-NIRS, jej potencjalne zastosowania i ulepszenia (np. spektrometry mobilne).

Kontynuacją tej tematyki jest praca Debaene'go i in. (10). Autorzy podali metody interpretacji wyników analizy spektralnej gleby i ocenili ich przydatność w różnych skalach przestrzennych. Chociaż w doświadczeniu porównawczym w Grabowie najlepsze dopasowania wyników uzyskali dla zawartości węgla organicznego i frakcji iłu, jednak przewidywali, że istnieje możliwość pośredniego oznaczania w ten sposób zawartości pierwiastków śladowych, w tym niektórych mikroelementów.

Jednym z zastosowań VIS-NIRS jest tworzenie spektralnych bibliotek gleb. Niedźwiecki i in. (60) przedstawili polskie i światowe działania w tym zakresie. Pokazali, jakie materiały z różnych projektów monitoringowych i badań mogą być w tym celu wykorzystane. Omówili poszczególne etapy pracy (wybór i przygotowanie próbek, skanowanie spektrofotometrem, analizę widm, ich opracowanie matematyczne) i zbadali dopasowanie modeli predykcyjnych na przykładzie glebowej materii organicznej i zawartości iłu w glebach pól produkcyjnych w Baborówku.

Niedźwiecki i in. (61) zaproponowali nowatorskie wykorzystanie spektroskopii VIS-NIRS do tworzenia spektralnej biblioteki gleb organicznych. Materiałem do badań były gleby z trwałych użytków zielonych z różnych rejonów Polski: torfowe, torfowe na podłożu mineralnym, murszowo-torfowe, murszowe na podłożu mineralnym, murszowate, murszaste torfiaste oraz mułowo-torfowe i torfowo-mułowe. W każdej z 17 lokalizacji wykonano odkrywkę glebowe w celu opisanego budowy morfologicznej i pobrano próbki do badań laboratoryjnych i analizy spektralnej. Autorzy przedstawili wykorzystanie spektrometri, sposoby analizy uzyskanych widm i konieczne przekształcenia wyników. Przebadali zdolność predykcyjną metody w zakresie zawartości węgla całkowitego i azotu całkowitego w zależności od pochodzenia utworów organicznych i stopnia rozkładu (murszenia) oraz ocenili potencjał metody w monitorowaniu przemian gleb organicznych.

Podsumowanie

Oferta publikacyjna IUNG-PIB jest bardzo bogata, duży udział mają w niej też materiały dotyczące gleb. W opracowaniu uwzględniono tylko tytuły naukowe oferowane w otwartym dostępie. Pominięto m.in. serię Monografie i Rozprawy Naukowe, podręcznik Wademekum klasyfikatora gleb, materiały konferencyjne, materiały szkoleniowe i instrukcje wdrożeniowe. Czasopismo Polish Journal of Agronomy i seria Studia i Raporty IUNG-PIB różnią się docelową grupą odbiorców. Prace publikowane w PJA są przeznaczone dla naukowców, zarówno treść, jak i forma prezentowania wyników musi spełniać standardy artykułów naukowych. Opracowania ze Studiów i Raportów są obszerniejsze, zwykle zawierają ogólne informacje o wybranych

aspektach rolnictwa w Polsce i UE, często też dane monitoringowe i informacje pochodzące z baz danych tworzonych i aktualizowanych w IUNG-PIB. Mogą być wykorzystywane przez instytucje rządowe w zarządzaniu i ochronie krajowych zasobów, stanowią również sprawdzone źródło wiedzy dla studentów, naukowców, wykładowców, doradców.

Pomimo tej specyfiki tematyka gleboznawcza podejmowana w obu wydawnictwach jest podobna. Obejmuje zagadnienia związane z właściwościami fizycznymi, chemicznymi i mikrobiologicznymi gleb, ich zasobnością w makro- i mikroelementy, zawartością materii organicznej, z czynnikami powodującymi degradację gleb (zanieczyszczenia, nadmierne zagęszczenie, erozja) i wykorzystaniem nowych narzędzi w badaniach. W SiR większy udział mają prace dotyczące metodyki opracowań przestrzennych, co jest związane z pozyskiwaniem i przetwarzaniem danych monitoringowych w ramach zadań zleczanych przez MRiRW. Pracownicy Instytutu publikują swoje wyniki również w wydawnictwach zewnętrznych, dlatego niektóre tematy z działalności IUNG nie są reprezentowane w PJA.

Zaletą SiR i PJA jest m.in. nieograniczony dostęp do ich zawartości przez Internet. Umożliwia on szybkie przeszukiwanie treści i kopiowanie tekstu, co zwiększa atrakcyjność tych zasobów dla odbiorców. Przedstawiona w opracowaniu ogólna charakterystyka tematyki dotyczącej badań gleb w omówionych wydawnictwach może dodatkowo ułatwić wykorzystanie zgromadzonych w nich informacji.

Publikacje uwzględnione w opracowaniu

1. A b r a m c z y k K., Gałązka A.: Pałeczki *Salmonella* i *Escherichia coli* jako realne zagrożenie zdrowia ludzi oraz jakości gleby. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2017, **54(8)**: 73-82.
2. B a n a c h A., Wolińska A., Błaszczak M., Stępniewska Z.: The influence of soil properties and land use on the phosphate level in soils from Lubelskie region. Polish Journal of Agronomy, 2015, **22**: 3-9.
3. B a r a n A., Wieczorek J., Jaworska M.: Zawartość rtęci w glebach województwa małopolskiego. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2015, **46(20)**: 143-161.
4. B e r n a c k i Z., K a r g J.: Zadrzewienia śródpolne jako bariery antyerozyjne i biogeochemiczne. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2008, **10**: 59-67.
5. B r e z a-B o r u t a B.: Występowanie drobnoustrojów pektynolitycznych w glebie w systemie ekologicznym i konwencjonalnym. Polish Journal of Agronomy, 2013, **15**: 32-37.
6. B u r z y Ń s k a I.: Zawartość rozpuszczalnego węgla organicznego w mineralnej glebie i w płytkich wodach gruntowych na tle sposobu użytkowania łąki. Polish Journal of Agronomy, 2012, **8**: 3-8.
7. C z y ż E.A., Łopatka A., Dexter A.R., Łysiak M., Stanek-Tarkowska J.: Podatność gleb na zagęszczenie. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, **35(9)**: 57-95.
8. D e b a e n e G.: Visible and near-infrared spectroscopy in Poland: from the beginning to the Polish Soil Spectral Library. Polish Journal of Agronomy, 2019, **37**: 3-10.
9. D e b a e n e G., N i e d ź w i e c k i J., P e c i o A.: Visible and near-infrared spectrophotometer for soil analysis: preliminary results. Polish Journal of Agronomy, 2010, **3**: 3-9.
10. D e b a e n e G., P i k u ł a D., N i e d ź w i e c k i J., K o w a l i k M.: Spektroskopia bliskiej podczerwieni jako narzędzie przydatne w określaniu żyzności gleb. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2015, **46(20)**: 85-103.
11. D o b e r s E.S.: Recognition of soil heterogeneity as a base for the strategy of soil sampling (Rozpoznanie zmienności przestrzennej gleby dla wyboru strategii pobierania próbek). Raporty PIB, 2006, **1**: 27-36.

12. Faber A., Jarosz Z., Łopatk A., Siebielec G.: Ocena zmian zawartości węgla organicznego w glebach na podstawie danych monitoringu chemizmu gleb ornych w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **46(20)**: 9-20.
13. Feledyn-Szewczyk B., Berbec A.K., Radzikowski P.: Rola dżdżownic w kształtowaniu jakości gleb oraz wpływ różnych zabiegów agrotechnicznych na ich występowanie. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, **54(8)**: 57-71.
14. Fotyma M., Igras J. Narodowy program wapnowania gleb w Polsce na lata 2007–2013. *Raporty PIB 2006*, 1: 45-48.
15. Furtak K., Gałązka A.: Enzymatic activity as a popular parameter used to determine the quality of the soil environment. *Polish Journal of Agronomy*, 2019, **37**: 22-30.
16. Gałązka A.: Charakterystyka glomalin i oddziaływania różnych systemów uprawy na ich zawartość w glebie. *Polish Journal of Agronomy*, 2013, **15**: 75-82.
17. Gałązka A., Gawryjolek K., Kocoń A.: Liczebność drobnoustrojów rozpuszczających fosforany i aktywność fosfatyz w glebie w kontekście stosowania preparatów mikrobiologicznych. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, **54(8)**: 95-109.
18. Gałązka A., Kocoń A.: Ocena efektywności działania preparatów z mikroorganizmami pożytecznymi na aktywność enzymatyczną gleby. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **45(19)**: 143-154.
19. Gałązka A., Kocoń A.: Wpływ preparatów z mikroorganizmami pożytecznymi na liczebność i biomasę mikroorganizmów glebowych. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **45(19)**: 127-142.
20. Gondek K., Kopeć M.: Assessment of the effect of sulphur supplied to the soil with mineral fertilizers and waste from magnesium sulphate production on its content in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) and in soil effluents. *Polish Journal of Agronomy*, 2010, **2**: 18-26.
21. Gregorczyk A., Swarczewicz M.: Analiza wariancji w układzie powtarzanych pomiarów do określenia efektów czynników wpływających na pozostałości linuronu w glebie. *Polish Journal of Agronomy*, 2012, **11**: 15-20.
22. Gregorczyk A., Swarczewicz M.: Zastosowanie modelu dwuwykładniczego do opisu zanikania herbicydów w glebie. *Polish Journal of Agronomy*, 2012, **8**: 9-14.
23. Harasim A., Igras J., Harasim P.: Zmiany zawartości azotu mineralnego w glebie mineralnej pod mieszanką pastwiskową w różnych stanowiskach. *Polish Journal of Agronomy*, 2017, **30**: 25-32.
24. Hur G., Sobolewska M., Dojss D., Pużyński S., Gibczyńska M.: Wpływ dwuskładnikowych nawozów mineralnych na zasobność gleby po uprawie buraka cukrowego. *Polish Journal of Agronomy*, 2018, **33**: 33-37.
25. Jadczyzyn J., Bartosiewicz B.: Procesy osuszania i degradacji gleb. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2020, **64(18)**: 49-60.
26. Jadczyzyn J., Koza P.: Wdrażanie wybranych pakietów rolno-środowiskowych oraz zalesień na obszarach problemowych rolnictwa (OPR). *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **46(20)**: 105-123.
27. Jadczyzyn J., Siebielec G., Łopatk A., Koza P.: Ocena przekształcania i zasklepienia gleb użytków rolnych na cele urbanizacji. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2018, **58(12)**: 35-46.
28. Jadczyzyn J., Smreczak B.: Mapa glebowo-rolnicza w skali 1:25 000 i jej wykorzystanie na potrzeby współczesnego rolnictwa. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, **51(5)**: 9-27.
29. Jadczyzyn T.: Chemiczne wskaźniki żyzności gleb Polski w świetle badań monitoringowych. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **45(19)**: 173-184.
30. Jadczyzyn T.: Sporządzanie planu nawożenia z uwzględnieniem wyników badań gleby. *Raporty PIB*, 2006, **1**: 37-48.
31. Karg J., Bernacki Z.: Zadrzewienia śródpolne w krajobrazie rolniczym. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2008, **10**: 39-57.
32. Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kordybach B., Smreczak B.: Metody oceny ryzyka ekologicznego terenów narażonych na oddziaływanie zanieczyszczeń organicznych. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **35(9)**: 155-179.
33. Kocoń A., Gałązka A.: Wpływ preparatów z mikroorganizmami pożytecznymi na właściwości fizykochemiczne gleby oraz plon roślin. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **45(19)**: 113-125.
34. Kocoń A., Jadczyzyn T.: Wpływ preparatów mikrobiologicznych, sposobów ich stosowania oraz dawek nawożenia azotem na zawartość przyswajalnego fosforu w glebie i inne wybrane wskaźniki chemiczne żyzności gleby. *Polish Journal of Agronomy*, 2015, **21**: 11-18.
35. Kowalska B., Smolińska U.: Badania nad ograniczeniem populacji w glebie ważnego patogena cebuli – bakterii *Burkholderia cepacia*. *Polish Journal of Agronomy*, 2013, **15**: 38-48.

36. Kozieł M., Gałązka A.: Liczebność bakterii uruchamiających fosfor ze związków mineralnych w glebach uprawnych Polski. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2017, **54(8)**: 83-93.
37. Kozieł M., Siebielec S., Siebielec G., Martyniuk S.: Ocena efektywności symbiotycznej szczepów bakterii z rodzaju *Rhizobium* wyizolowanych z brodawek korzeniowych bobiku (*Vicia faba* L. var. *minor*) i grochu (*Pisum sativum* L.). Studia i Raporty IUNG-PIB, 2017, **54(8)**: 111-121.
38. Krasaka P.: The content of some micronutrients in rendzina soil cultivated using different tillage systems and catch crops. Polish Journal of Agronomy, 2011, **4**: 7-11.
39. Krasowicz S., Matyka M.: Racjonalne wykorzystanie gleb Polski jako problem społeczny. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2018, **58(12)**: 9-23.
40. Krasowicz S., Matyka M., Stachyra M., Bartuzi K.: Efekty realizacji programów wieloletnich IUNG-PIB w latach 2005–2020. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2020, **64(18)**: 109-127.
41. Krasowicz S., Oleszek W., Horabik J., Dębicki R., Jankowiak J., Stuczyński T., Jadczyzyn J.: Racjonalne gospodarowanie środowiskiem glebowym Polski. Polish Journal of Agronomy, 2011, **7**: 43-58.
42. Krasuska E., Jarosz Z., Kaczyński R.: Modelling soil organic carbon sequestration under crops for biofuels in Poland. Polish Journal of Agronomy, 2016, **27**: 126-136.
43. Kucharski M.: Pozostałości środków ochrony roślin w glebie Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, **35(9)**: 119-135.
44. Kucharski M., Sadowski J.: Influence of adjuvants on behavior of phenmedipham in plant and soil. Polish Journal of Agronomy, 009, **1**: 32-36.
45. Kucharski M., Sadowski J., Wujek B., Trajdos J.: Influence of adjuvants addition on lenacil residues in plant and soil. Polish Journal of Agronomy, 2011, **5**: 39-42.
46. Kuś J.: Glebowa materia organiczna – znaczenie, zawartość i bilansowanie. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2015, **45(19)**: 27-53.
47. Lemaniowicz J.: Phosphatases activity and plant available phosphorus in soil under winter wheat (*Triticum aestivum* L.) fertilized minerally. Polish Journal of Agronomy, 2011, **4**: 12-15.
48. Lipiński W.: Zadania i metody pracy stacji chemiczno-rolniczych w Polsce. Raporty PIB, 2006, **1**: 11-16.
49. Łopatką A.: Związek pomiędzy zawartością glebowej materii organicznej na gruntach ornych a strukturą upraw i obsadą zwierząt ustalony w oparciu o dane monitoringu LUCAS. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2015, **46(20)**: 21-43.
50. Łopatką A.: Europejski monitoring użytkowania gruntów i baza danych glebowych LUCAS. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2017, **51(5)**: 73-89.
51. Łopatką A., Koza P.: Naturalne czynniki ograniczające użytkowanie gleb w Polsce i w Unii Europejskiej. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, **35(9)**: 9-27.
52. Łopatką A., Koza P., Stuczyński T.: Metodyka interpolacji opracowana na potrzeby tworzenia map zagrożeń gleb. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2018, **58(12)**: 25-34.
53. Łopatką A., Siebielec G., Smreczak B.: Zasobność gleb w podstawowe składniki oraz zanieczyszczenie gleb i wód azotanami. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2020, **64(18)**: 77-90.
54. Maliszewski K., Kordybach B., Smreczak B., Klimkiewicz-Pawlas A.: Zagrożenie zanieczyszczeniami chemicznymi gleb na obszarach rolniczych w Polsce w świetle badań IUNG-PIB w Puławach. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, **35(9)**: 97-118.
55. Martyniuk S.: Czy rolnictwo konwencjonalne (intensywne) szkodzi mikroorganizmom glebowym? Polish Journal of Agronomy, 2014, **17**: 25-29.
56. Martyniuk S., Oroń J., Harasim J.: Microbial and enzymatic characteristics of soils under pasture mixtures. Polish Journal of Agronomy, 2010, **2**: 41-43.
57. Mierzwa-Hersztek M., Gondek K.: Speciation of Cd and Pb in the soil after the biochar application. Polish Journal of Agronomy, 2016, **24**: 9-15.
58. Natywa M., Selwet M., Ambroży K., Pocijowska M.: Wpływ nawożenia azotem i deszczowania na liczebność bakterii z rodzaju *Azotobacter* w glebie pod uprawą kukurydzy w różnych fazach rozwoju rośliny. Polish Journal of Agronomy, 2013, **14**: 53-58.
59. Niedźwiecki J., Debaene G.: Nowoczesne chemometryczne metody oznaczania substancji organicznej w glebach. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, **35(9)**: 199-212.
60. Niedźwiecki J., Debaene G., Kowalik M.: Spektralna biblioteka gleb użytków rolnych w Polsce – podstawowe założenia. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2017, **51(5)**: 91-110.

61. Niedźwiecki J., Debaene G., Smreczak B., Łysiak M., Ukalska-Jaruga A.: Wstępne badania nad wykorzystaniem metod spektralnych do klasyfikacji utworów organicznych na potrzeby Spektralnej Biblioteki Gleb Polski. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, **54(8)**: 41-55.
62. Niedźwiecki J., Łopatka A.: Fizyczna jakość gleb użytków rolnych Polski. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2018, **58(12)**: 47-55.
63. Nowocień E.: Wybrane zagadnienia erozji gleb w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2008, **10**: 9-38.
64. Nowocień E., Wawer R.: Ocena struktury zagrożeń gleb erozją wodną w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **35(9)**: 29-56.
65. Ochła P.: Aktualny stan i zmiany żyzności gleb w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **45(19)**: 9-25.
66. Pasieczna A.: Zawartość antymonu i bizmutu w glebach użytków rolnych Polski. *Polish Journal of Agronomy*, 2012, **10**: 21-29.
67. Pecio A., Jarosz Z.: Wpływ zabiegów agrotechnicznych na wybrane właściwości chemiczne gleb. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **45(19)**: 69-84.
68. Pietraszek P., Walczak P.: Charakterystyka i możliwości zastosowania bakterii z rodzaju *Bacillus* wyizolowanych z gleby. *Polish Journal of Agronomy*, 2014, **16**: 37-44.
69. Pikuła D.: Wpływ wieloletniego nawożenia słomą na plonowanie roślin i żyzność gleby. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **45(19)**: 85-96.
70. Pocięjowska M., Nattywa M., Majchrzak L., Cłapa T., Selwet M.: Wpływ sposobu przygotowania stanowiska pod pszenicę jarą na liczebność mikroorganizmów i aktywność biochemiczną gleby. *Polish Journal of Agronomy*, 2013, **15**: 21-26.
71. Podleśna A.: Wpływ nawozów siarkowych na odczyn i zawartość gleb w składniki pokarmowe. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **45(19)**: 97-112.
72. Podolski B.: Agrotechnika przeciwerozyjna. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2008, **10**: 69-78.
73. Pudęko R.: Metody wizualizacji wyników badań odczynu i zasobności gleb na dużych polach uprawnych. *Raporty PIB*, 2006, **1**: 17-25.
74. Romanowicz A., Krzepińko A.: Porównanie aktywności katalazy w różnych organach maliny powtarzającej *Rubus idaeus* L. odmiany Polana oraz w glebie pod jej uprawą, oznaczanej metodą wolumetryczną. *Polish Journal of Agronomy*, 2013, **15**: 49-53.
75. Rutkowska A.: Produkcyjne i środowiskowe skutki wieloletniego wyczerpywania gleb z fosforu i potasu. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **45(19)**: 55-67.
76. Siebielec G.: Stały monitoring gleb użytków rolnych Polski. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, **51(5)**: 57-72.
77. Siebielec G., Łopatka A., Smreczak B., Kaczyński R., Siebielec S., Koza P., Dach J.: Materia organiczna w glebach mineralnych Polski. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2020, **64(18)**: 9-30.
78. Siebielec G., Siebielec S.: Bioróżnorodność gleb. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2020, **64(18)**: 91-108.
79. Siebielec G., Siebielec S., Podolska G.: Porównanie mikrobiologicznej i chemicznej charakterystyki gleb po ponad 100 latach uprawy roślin zbożowych. *Polish Journal of Agronomy*, 2015, **23**: 88-100.
80. 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)**: 41-56.
81. Smreczak B., Jadczyzyn J., Klimkowicz-Pawlas A., Ukalska-Jaruga A.: Stan zanieczyszczenia gleb pierwiastkami śladowymi oraz struktura użytkowania gruntów w rejonie Olkusza. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **46(20)**: 125-141.
82. Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kordybach B.: Biodostępność trwałych zanieczyszczeń organicznych (TZO) w glebach. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **35(9)**: 137-153.
83. Smreczak B., Niedźwiecki J., Jadczyzyn J., Łysiak M.: Aktualny stan odwadnianych gleb łąkowych wytworzonych z torfów niskich – badania pilotażowe. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2020, **64(18)**: 61-75.

84. Smreczak B., Ochal P., Siebielec G.: Wpływ zakwaszenia na funkcje gleb oraz wyznaczenie obszarów ryzyka na użytkach rolnych w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2020, **64(18)**: 31-47.
85. Smreczak B., Siebielec G., Ukalska-Jaruga A., Klimkowicz-Pawlak A.: Ocena zawartości kadmu, cynku i ołowiu oraz benzo(a)pirenu w glebach użytkowanych rolniczo – dwadzieścia lat monitoringu chemizmu gleb ornych Polski. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2018, **58(12)**: 81-95.
86. Smreczak B., Ukalska-Jaruga A., Łysiak M., Strzelecka J., Niedźwiecki J., Sobich D.: Funkcje, jakość i usługi ekosystemowe gleb. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, **54(8)**: 9-23.
87. Sobiczewski P., Treder W., Bryk H., Klamkowski K., Krzewińska D., Mikiciński A., Berczyński S., Tryngiel-Gać A.: The impact of phytosanitary treatments in the soil with signs of fatigue on the growth of apple seedlings and populations of bacteria and fungi. *Polish Journal of Agronomy*, 2018, **34**: 11-22.
88. Stręk M., Telesiński A.: Badania nad możliwością wykorzystania selenu w ograniczeniu oddziaływania ołowiu na wybrane przemiany metaboliczne związków fenolowych w glebie i siewkach pszenicy jarej (*Triticum aestivum* L.). *Polish Journal of Agronomy*, 2014, **18**: 45-51.
89. Suszek-Łopata B.: Znaczenie stresu łączonego dla oceny zagrożeń ekotoksykologicznych środowiska glebowego. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **35(9)**: 181-198.
90. Szewrański S.: Wybrane zagadnienia prawnej ochrony gleb przed erozją. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2008, **10**: 117-121.
91. Tujaka A., Gosek S., Gałązka R.: Ocena przydatności metody Hedleya do oznaczania zmian zawartości frakcji fosforu w glebie. *Polish Journal of Agronomy*, 2011, **6**: 52-57.
92. Ukalska-Jaruga A., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlak A., Maliszewska-Kordybach B.: Rola materii organicznej w procesach akumulacji trwałych zanieczyszczeń organicznych (TZO) w glebach. *Polish Journal of Agronomy*, 2015, **20**: 15-23.
93. Ukalska-Jaruga A., Smreczak B., Strzelecka J.: Wpływ materii organicznej na jakość gleb użytkowanych rolniczo. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, **54(8)**: 25-39.
94. Wawer R., Nowocień E.: Erozja wodna i wietrzna w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2018, **58(12)**: 57-79.
95. Węgorzek T.: Biologiczne metody zmniejszania zagrożenia gleb erozją wodną (fitomelioracje). *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2008, **10**: 123-148.
96. Wiątrowska K., Komisarek J.: Sorpcja fosforu w glebach płowych i czarnych ziemiach w katenie falistej moreny dennej Pojezierza Poznańskiego. *Polish Journal of Agronomy*, 2015, **22**: 25-32.
97. Woch F.: Ekonomiczny aspekt ochrony gleb przed erozją w procesie urzędziowym. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2008, **10**: 103-115.
98. Woch F.: Urzędziowe metody zmniejszania zagrożenia erozyjnego gleb. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2008, **10**: 79-101.

Adres do korespondencji:

dr inż. Alina Bochniarz
Dział Upowszechniania i Wydawnictw
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 4786 726
e-mail: Alina.Bochniarz@iung.pulawy.pl

AUTOR

Alina Bochniarz

ORCID

0000-0001-6545-3041

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

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

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

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

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 odstępy 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⁻¹)

literatura

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

Pracę do recenzji należy 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 978-83-7562-366-6

Egzemplarz bezpłatny