

Bożena Smreczak, Piotr Ochal, Grzegorz Siebielec*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach***WPLYW ZAKWASZENIA NA FUNKCJE GLEB ORAZ WYZNACZANIE
OBSZARÓW RYZYKA NA UŻYTKACH ROLNYCH W POLSCE***

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

Wstęp

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

Analiza stopnia zakwaszenia gleb obejmuje oznaczenia kwasowości czynnej, wymiennej oraz hydrolitycznej, oznaczanych odpowiednio w zawiesinie gleby w wodzie destylowanej – pH_w, w 1 mol·dm⁻³ roztworze chlorku potasu – pH_{KCl} oraz w zasadowym (pH = 8,2) roztworze octanu wapnia ((CH₃COOH)₂Ca) – pH_h (2). Wartości pH oznaczane w zawiesinie gleby traktowanej odpowiednimi roztworami odpowiadają: stężeniu jonów wodoru (H⁺) obecnych w roztworze glebowym – pH_w, stężeniu jonów wodoru i glinu (Al³⁺) obecnych w roztworze glebowym i zasorbowanych przez kompleks sorpcyjny – pH_{KCl} oraz stężeniu jonów H⁺ oraz Al³⁺ silnie związanych przez kompleks sorpcyjny gleby – pH_h (2).

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

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

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

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

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

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

Wpływ zakwaszenia na funkcje gleb

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

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

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

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

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

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

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

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

W glebach użytkowanych rolniczo zachodzi jednocześnie akumulacja i mineralizacja materii organicznej. O tempie tych przemian decyduje nie tylko stosunek C:N, ale również odczyn gleby (15, 17). Zmienne warunki uprawy polowej wpływają na przemiany substancji organicznych i nieorganicznych, a tym samym oddziałują bezpośrednio lub pośrednio na wielkość emisji gazowych charakteryzujących funkcję regulacyjną gleby. Oertel i in. (18) wskazują, że gleby zakwaszone emitują mniej gazów cieplarnianych. W warunkach kwaśnego odczynu występuje ograniczenie emisji dwutlenku węgla (CO_2) oraz podtlenku azotu (N_2O). Kwaśny odczyn natomiast nie wpływa na emisję metanu (CH_4). W glebach o niskim

pH zostaje ograniczona lub zahamowana aktywność drobnoustrojów uczestniczących w procesie mineralizacji oraz nityfikacji i denityfikacji (18, 20). Na przykład zakwaszenie gleb ogranicza aktywność bakterii nityfikacyjnych, które uczestniczą w procesie utleniania amoniaku do jonu azotanowego (III) – NO_2^- a następnie jonu azotanowego (V) – NO_3^- (18). Ograniczone tempo przemian NO_2^- do NO_3^- wpływa pośrednio na zwiększenie tempa redukcji NO_2^- do N_2O , co powoduje zwiększoną emisję tlenu azotu z gleb (4, 23). W przemianach N w glebach kwaśnych uczestniczą bakterie chemoautotroficzne, które w warunkach beztlenowych prowadzą przemiany materii organicznej oraz wykorzystują tlen zawarty w NO_3^- jako akceptor elektronów. Produktami reakcji denityfikacji są: tlenek azotu (NO), podtlenek azotu (N_2O) i azot cząsteczkowy (N_2). W trakcie reakcji denityfikacji do roztworu glebowego uwalniane są również protony H^+ , które dodatkowo powodują zakwaszanie się gleb, a reagując na przykład z węglanem wapnia stosowanym do odkwaszania gleb, wpływają na zwiększenie emisji CO_2 (4).

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

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

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

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

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

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

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

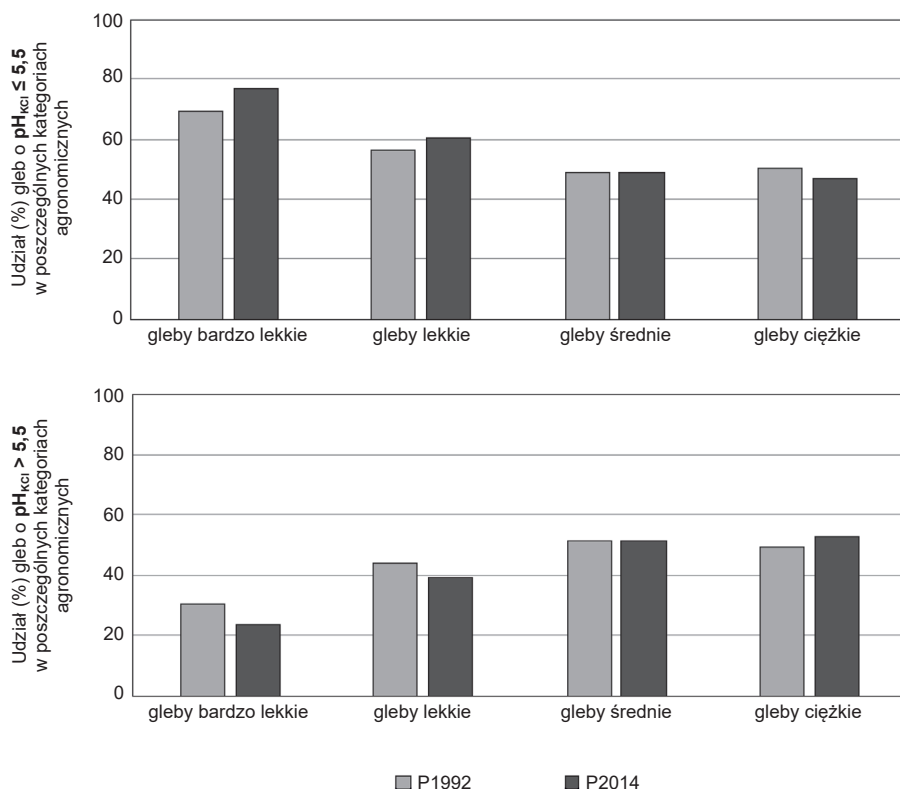
wartości progowe wskazujące na zagrożenia dla funkcji gleb oraz pogorszenie się warunków dla produkcji rolniczej na przykład: $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 4,5$ (10), $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 5,5$ (5, 19), czy $\text{pHw} \leq 5,0$ (25).

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

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

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

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



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

Źródło: opracowanie własne

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

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

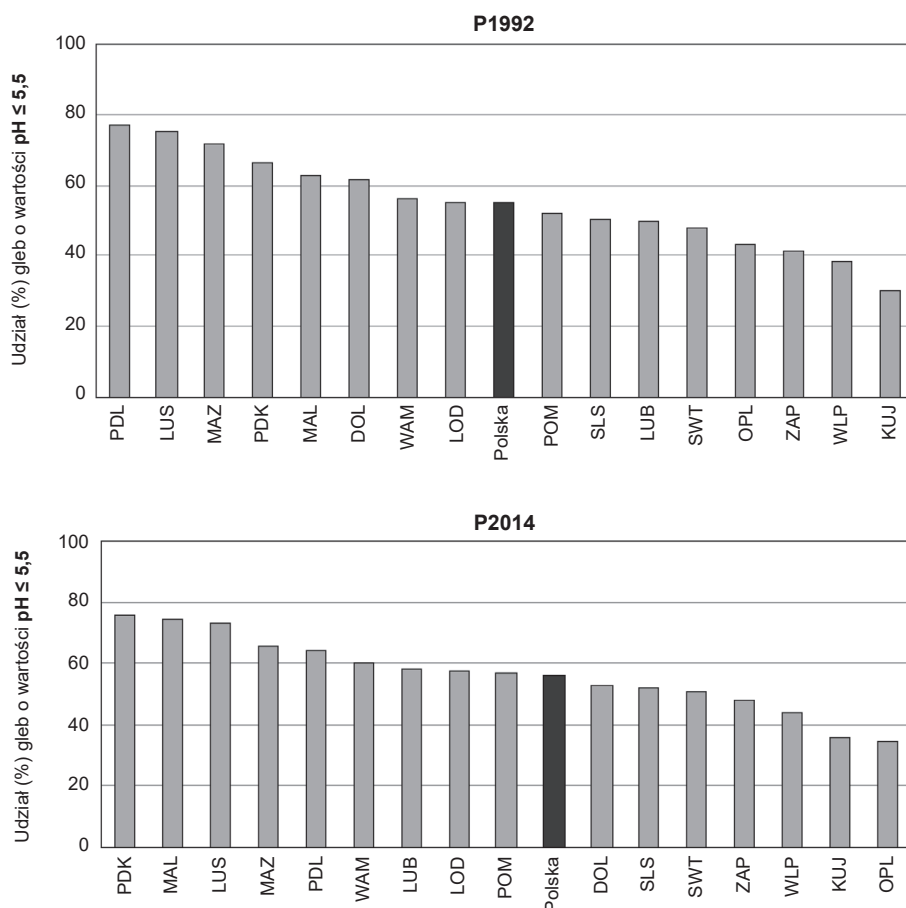
Tabela 1

Porównanie wartości średnich pH_{KCl} uzyskanych na podstawie badań w trzech programach: P1992, P2014 oraz POSChR

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

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

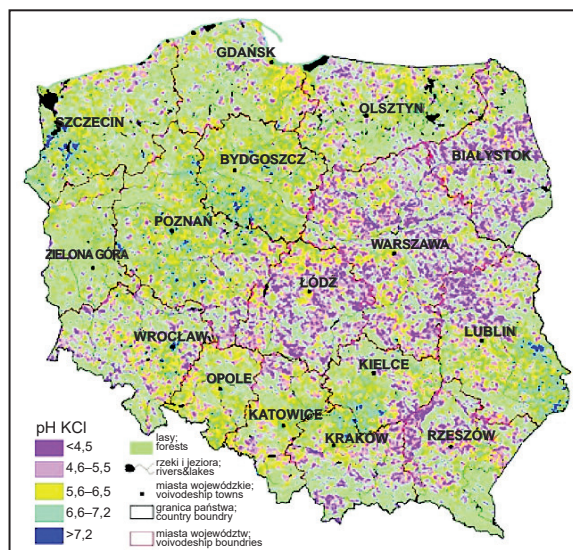
Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem danych Rutkowskiej, 2018 (23)



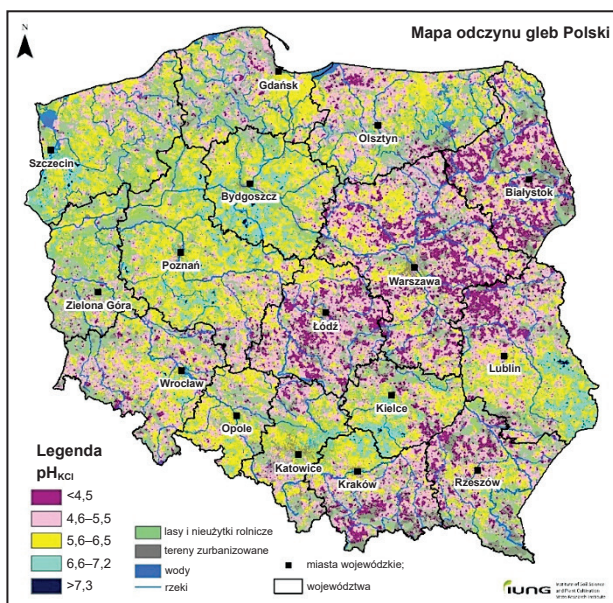
Rys. 2. Udział procentowy gleb wykazujących $pH_{KCl} \leq 5,5$ w skali województw, w programach P1992 oraz P2014

Źródło: opracowanie własne

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



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



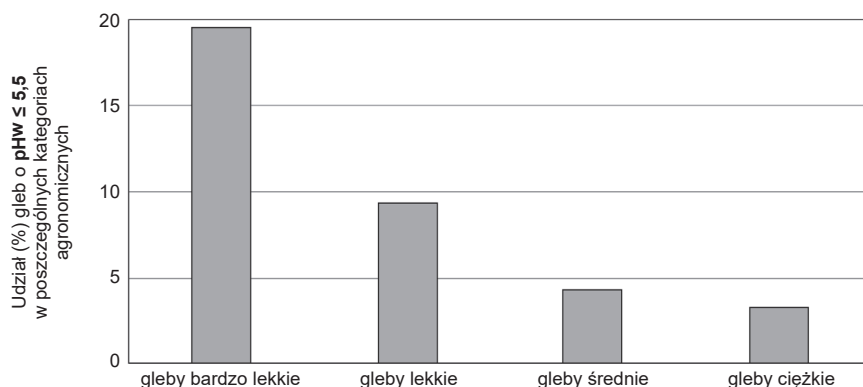
Rys. 4. Mapa (pH_{KCl}) odczynu gleb Polski opracowana na podstawie danych z roku 2014
 Źródło opracowanie własne

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

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

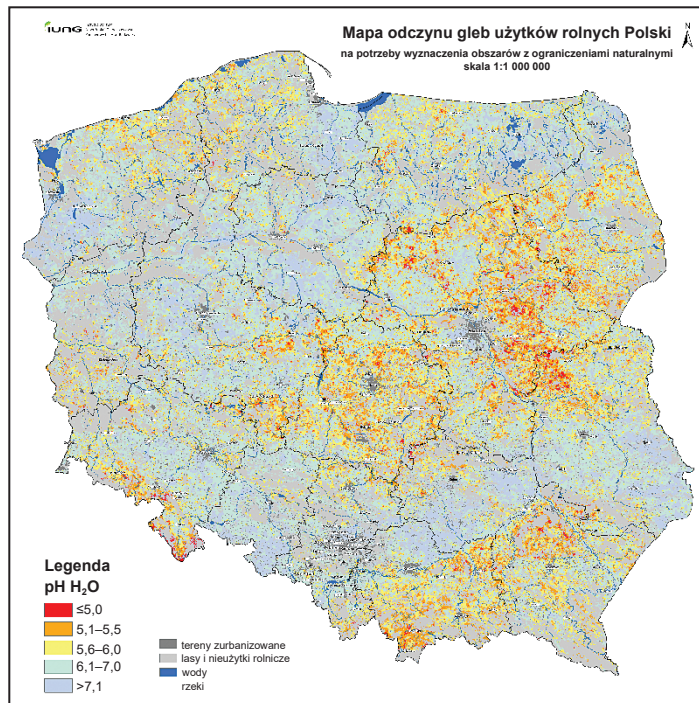
W grudniu 2013 r. ukazało się Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1305/2013 z dnia 17 grudnia 2013 r. w sprawie wsparcia rozwoju obszarów wiejskich przez Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich (EFRROW) i uchylające rozporządzenie Rady (WE) nr 1698/2005 (25). W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

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



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

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



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

Podsumowanie

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

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

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

Literatura

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

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

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

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

Adres do korespondencji:

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

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