

Piotr Ochal, Bożena Smreczak

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

ZAKWASZENIE GLEB I AKTUALNE ZAGADNIENIA WAPNOWANIA*

Słowa kluczowe: wapnowanie, zakwaszenie gleb, potrzeby wapnowania, zapotrzebowanie na wapno nawozowe

Wstęp

Znaczna część gleb Polski, niezależnie od sposobu ich użytkowania, jest zakwaszona, a grunty orne w ponad 50% wykazują odczyn bardzo kwaśny i kwaśny (26). Stan ten nie ulega istotnym zmianom od początku prowadzenia badań odczynu gleb użytkowanych rolniczo w Polsce. Wysoki udział gleb o odczynie bardzo kwaśnym i kwaśnym utrudnia, a w wielu przypadkach uniemożliwia spełnianie ich funkcji produkcyjnych, siedliskowych, retencyjnych oraz uzyskiwanie wysokojakościowych surowców do produkcji żywności bezpiecznej dla zdrowia człowieka oraz wysokowartościowej paszy dla zwierząt gospodarskich (8, 23, 26).

Zakwaszenie gleb w Polsce ma genezę naturalną i wynika z przewagi opadów atmosferycznych nad parowaniem oraz rodzaju skał macierzystych, wśród których dominują polodowcowe skały osadowe silnie rozmyte i przesortowane przez wody lodowcowe (2, 5, 7, 9). Nakładają się na to procesy antropogenicznego zakwaszania gleb. Najważniejszymi z nich są: nawożenie mineralne nawozami azotowymi amonowymi i amidowymi oraz potasowymi, odprowadzanie składników zasadowych z wysokimi plonami roślin oraz emisje kwasotwórcze zanieczyszczeń powietrza – głównie SO_2 , NO_x i NH_3 (6, 7). Emisje te pochodzą ze spalania surowców energetycznych, głównie węgla i pochodnych ropy naftowej, a także z rolnictwa.

Odczyn jest podstawowym i najłatwiej mierzalnym wskaźnikiem jakości gleby, decydującym o przebiegu wielu procesów glebowych, a zakwaszenie gleb wiąże się ze spadkiem ich urodzajności i produktywności. W praktyce rolniczej do oceny zakwaszenia gleb stosowane są w naszym kraju pomiary pH w zawiesinie gleby w $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ chlorku potasu lub w wodzie. Wartości pH_{KCl} poniżej 4,5 wskazują na silną degradację środowiska glebowego (23).

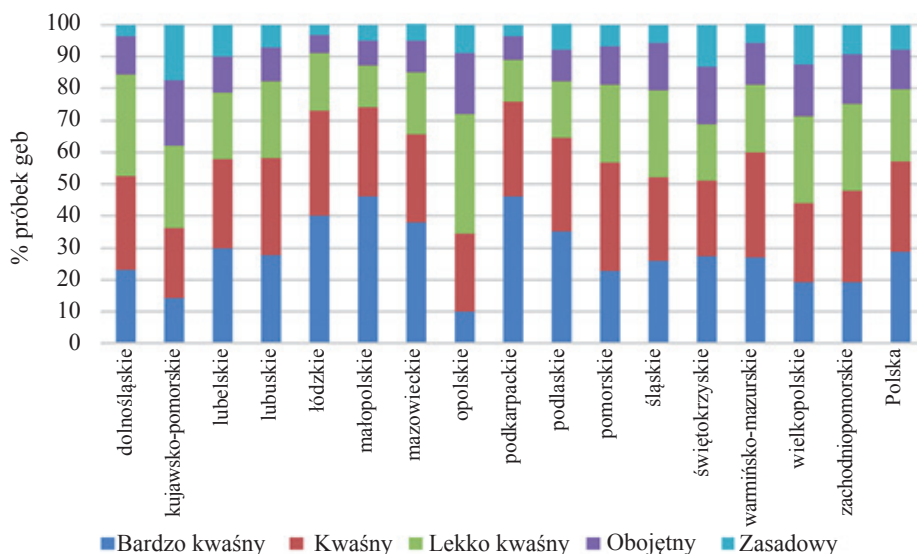
* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.2 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

Wapnowanie jest ważnym zabiegiem agrotechnicznym/środowiskowym o wielokierunkowym wpływie na właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleb. Sprzyja zwiększeniu pozytywnej aktywności mikrobiologicznej środowiska glebowego, intensyfikacji procesów mineralizacji, zwiększeniu dostępności i efektywności niektórych składników mineralnych. Wapnowanie, poprzez wpływ na zmniejszenie rozpuszczalności soli metali ciężkich, jest również czynnikiem zmniejszającym ich przemieszczanie się w łańcuchu troficznym (11, 12, 19). Mając na uwadze wielokierunkowy wpływ wapnowania na środowisko glebowe, w 2019 roku został uruchomiony przez Ministerstwo Środowiska we współpracy z Ministerstwem Rolnictwa i Rozwoju Wsi priorytetowy program na lata 2019–2023 pn.: „Ogólnopolski program regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie”. Program ma na celu dofinansowanie zakupu wapna nawozowego i jest skierowany do rolników posiadających gospodarstwa rolne o powierzchni do 75 ha. Dotacje będą przysługiwały na zakup wapna przeznaczonego do wapnowania gleb wykazujących odczyn kwaśny i bardzo kwaśny – $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 5,5$.

W opracowaniu przedstawiono stan zakwaszenia gleb ornych użytkowanych rolniczo w Polsce, aktualny stan zużycia środków wapnujących, zapotrzebowanie na środki wapnujące oraz środowiskowy aspekt wapnowania gleb. Ocenę stanu zakwaszenia gleb użytków rolnych, potrzeby wapnowania oraz zapotrzebowanie na wapno oszacowano na podstawie bazy danych odczynu gleb (pH_{KCl}) w Polsce, obejmującej wyniki badań przeprowadzonych w latach 2014–2015 w ramach realizacji zadania 1.2 w programie wieloletnim (2011–2015) IUNG-PIB we współpracy z Krajową Stacją Chemiczno-Rolniczą i okręgowymi stacjami chemiczno-rolniczymi. Próbkę do oznaczeń pH_{KCl} były pobierane z powierzchniowej (0–20 cm) warstwy gleby i analizowane w okręgowych stacjach chemiczno-rolniczych zgodnie z PN-ISO 10390:1997 przy zachowaniu proporcji gleba/roztwór 1:5. W opracowaniu przedstawiono wyniki badań dla $n = 54\ 656$ próbek glebowych reprezentujących gleby mineralne.

Stan zakwaszenia gleb w Polsce

Analiza bazy danych odczynu (pH_{KCl}) gleb rolnych wskazuje, że 28,9% przebadanych próbek charakteryzowało się odczynem bardzo kwaśnym (pH poniżej 4,5), 28,3% próbek odczynem kwaśnym (pH 4,6–5,5), 22,4% próbek gleb odczynem lekko kwaśnym (pH 5,6–6,5), 12,5% próbek gleb odczynem obojętnym (pH 6,6–7,2) a 7,9% próbek gleb wykazywało odczyn zasadowy ($\text{pH} > 7,3$). Najsilniej zakwaszone gleby występują w województwach: łódzkim, małopolskim i podkarpackim – ponad 70% wszystkich gleb o odczynie bardzo kwaśnym i kwaśnym. Najmniej takich gleb stwierdzono w województwach: opolskim i kujawsko-pomorskim – około 35% (rys. 1).



Rys. 1. Stan zakwaszenia gleb w Polsce (% próbek gleb)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Ochal i in., 2017 (26)

Uzyskane wyniki badań odczynu gleb są zbieżne z wynikami badań autorów, którzy w latach poprzednich dokonywali oceny stanu zakwaszenia gleb Polski w ramach badań chemizmu gleb gruntów ornych naszego kraju (21, 23, 28). Terełak (30) w wyniku prowadzonych badań monitoringowych właściwości chemicznych gleb Polski w latach 1992–1997 stwierdził około 57% próbek gleb kwaśnych i bardzo kwaśnych w bazie danych liczącej 48 398 danych. Badania odczynu gleb od 1995 r. prowadzone są również w ramach monitoringu chemizmu gleb gruntów ornych. W ostatnim raporcie Siebielec i in. (28) stwierdzili, że w roku 2015 znacznie wzrósł (do 36,1%) udział gleb bardzo kwaśnych o pH w KCl < 4,5 w stosunku do roku 2010 (23,61%). Sumaryczny udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych wzrósł w stosunku do roku 1995 (59,26%) do poziomu 65,3%.

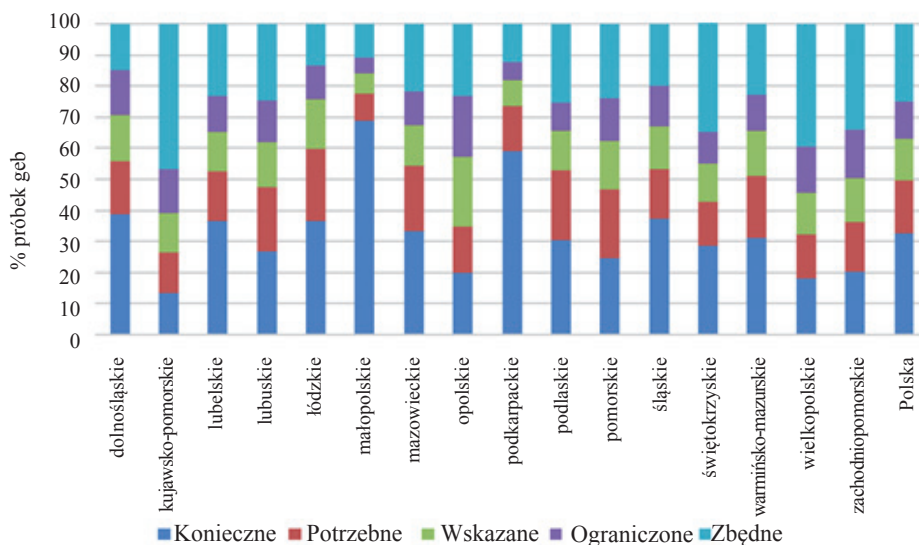
Istotnym źródłem danych o właściwościach agrochemicznych gleb użytkowanych rolniczo w kraju są okręgowe stacje chemiczno-rolnicze (OSChR). Do 1975 r. OSChR prowadziły badania i analizy stanu zakwaszenia gleb w Polsce na skalę masową, tzn. pobieranie próbek i analizę stanu zakwaszenia gleb wykonywano w odstępach kilkuletnich na całym areale użytków rolnych (niezależnie od wielkości i intensywności produkcji w gospodarstwie rolnym) (21). Wyniki tych badań wskazywały, że udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych wynosił około 58% w cyklu badań w latach 1955–1965 i 56% w latach 1966–1975. Po roku 1975 zaprzestano systematycznych badań masowych na rzecz badań w gospodarstwach, które wykazywały zapotrzebowanie na wyniki oznaczeń agrochemicznych właściwości gleby. Zakłada się, że analizy odczynu są przeważnie zlecane przez bardziej świadomych producentów rolnych, stosujących się do zaleceń nawozowych, w tym dotyczących wapnowania gleb, stąd

notowane są bardziej optymistyczne wyniki (21, 25, 26). Wyniki analiz odczynu pH_{KCl} uzyskane w latach 2012–2015 wskazują na mniejszy (40%) udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych w porównaniu latami 60. czy 70. XX w. (14). Rutkowska (27), analizując zmiany odczynu gleb w latach 2008–2016 na podstawie wyników monitoringu prowadzonego przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą oraz okręgowe stacje chemiczno-rolnicze, stwierdziła, że 38,5% próbek gleb w bazie danych charakteryzowało się odczynem bardzo kwaśnym i kwaśnym.

Uzyskane wyniki badań monitoringowych i tzw. badań „masowych” dowodzą, że w skali całego kraju udział gleb zakwaszonych jest znaczny, a około połowa gleb użytków rolnych charakteryzuje się odczynem pH_{KCl} poniżej 5,5. Waga problemu jest zatem ogromna, ponieważ dotyczy powierzchni ok. 7 mln ha.

Potrzeby wapnowania

Potrzeby wapnowania gleb w Polsce wyznaczone na podstawie danych IUNG-PIB za lata 2014–2015 przedstawiono na rysunku 2. Około 32,5% przebadanych próbek gleb charakteryzuje się potrzebami wapnowania koniecznymi, 17,2% – potrzebnymi, 13,4% – wskazanymi, 12,0% – ograniczonymi, a tylko 25,0% – zbędnymi. Największymi potrzebami wapnowania koniecznymi i potrzebnymi charakteryzują się gleby użytkowane rolniczo w województwach: małopolskim – 77,5%, podkarpackim – 73,4%, łódzkim – 59,7%. W województwach: dolnośląskim, mazowieckim, śląskim, podlaskim, lubelskim, warmińsko-mazurskim udział gleb wykazujących potrzeby wapnowania przekracza połowę powierzchni areалу użytków rolnych i wynosi od 50,9% do 54,2%. Najmniejsze potrzeby wapnowania gleb występują w województwie kujawsko-pomorskim – 26,5% (rys. 2).

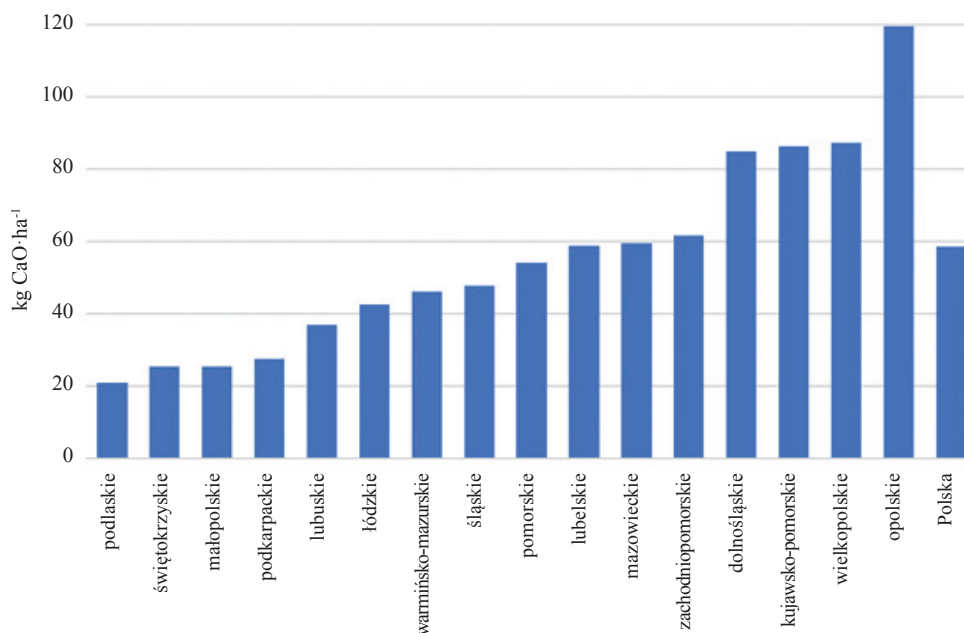


Rys. 2. Potrzeby wapnowania gleb w Polsce (% próbek gleb)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Ochal i in., 2017 (26)

Zużycie wapna nawozowego

Bardzo istotnym elementem zrównoważonego systemu nawożenia jest regulacja odczynu gleby w wyniku zabiegu wapnowania. Przeciętny stan zużycia środków wapnujących w województwach za lata 2015–2019 przedstawia rysunek 3. Zużycie nawozów wapniowych w latach 2015–2019 było bardzo niskie i wyniosło przeciętnie w kraju $59 \text{ kg CaO} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Analiza danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) wskazuje, że zużycie nawozów wapniowych (CaO) w tym okresie było niemal 3-krotnie niższe niż na początku lat 90. ubiegłego stulecia, kiedy to zużywano najczęściej wapna w historii polskiego rolnictwa. Najwyższe zużycie środków wapnujących w latach 2015–2019 odnotowano w województwie opolskim (niemal $120 \text{ kg CaO} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ – rys. 3). Najmniej wapna nawozowego zastosowano w województwach: podlaskim, świętokrzyskim, małopolskim, i podkarpackim – niewiele ponad $20 \text{ kg CaO} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ (rys. 3) Należy zaznaczyć, że niskie zużycie wapna nawozowego występuje głównie w tych województwach, w których udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych wynosi ponad 50%.



Rys 3. Przeciętne zużycie wapna nawozowego w latach 2015–2019

Źródło: opracowanie własne Ochala na podstawie danych GUS (14)

Zapotrzebowanie na wapno nawozowe

Zapotrzebowanie na środki wapnujące oszacowano dla użytków rolnych, których powierzchnia wg GUS w 2016 r. wynosiła 14 545 270 ha. Z tej powierzchni, na podstawie bazy danych odczynu gleb za lata 2014–2015 r. i procentowego udziału

kategorii agronomicznych w województwach wydzielono powierzchnie użytków rolnych wymagających wapnowania (tab. 1).

Tabela 1
Powierzchnia (ha) gleb użytków rolnych wymagająca wapnowania, w podziale na klasy pH_{KCl} i kategorie agronomiczne gleb

Kategoria agronomiczna gleby	Wartość pH_{KCl}					Razem
	<4,5	4,5–5,1	5,2–5,6	5,7–6,1	6,2–6,6	
	powierzchnia użytków rolnych (ha)					
Bardzo lekkie	932 285,0	328 985,5	-	-	-	1 261 270,5
Lekkie	2 019 311,4	1 292 255,3	874 399,8	-	-	4 185 966,5
Średnie	873 117,9	727 891,3	580 699,4	597 811,3	-	2 779 520,0
Ciężkie	285 851,6	242 858,5	210 384,2	212 229,0	216 349,7	1 167 673,0
Razem	4 110 566	2 591 991	1 665 483	810 040	216 350	9 394 429,9

Źródło: opracowanie własne Ochal na podstawie danych Ochal i in., 2017 (26)

Do wyznaczenia dawek wapna zastosowano równania regresji 2° (9), na podstawie których wyliczono szacunkowe ilości wapna nawozowego niezbędne do uregulowania odczynu gleby do wartości optymalnej dla danej kategorii agronomicznej. Jako optymalne wartości przyjęto: $pH_{KCl} = 5,1$ dla gleb bardzo lekkich; $pH_{KCl} = 5,6$ dla gleb lekkich; $pH_{KCl} = 6,1$ dla gleb średnich $pH_{KCl} = 6,6$ i dla gleb ciężkich (tab. 2).

Tabela 2
Oszacowane dawki ($t CaO \cdot ha^{-1}$) wapna nawozowego niezbędne do regulacji odczynu gleb do optymalnego poziomu w podziale na klasy pH_{KCl} i kategorie agronomiczne gleb

Kategoria agronomiczna gleby	Wartość pH_{KCl}				
	<4,5	4,5–5,1	5,2–5,6	5,7–6,1	6,2–6,6
	szacunkowa ilość $CaO (t \cdot ha^{-1})$				
Bardzo lekkie	2,0	0,75	-	-	-
Lekkie	5,0	3,18	0,9	-	-
Średnie	6,0	4,6	2,4	0,8	-
Ciężkie	6,0	5,3	1,8	0,14	0,1

Źródło: opracowanie własne Ochal

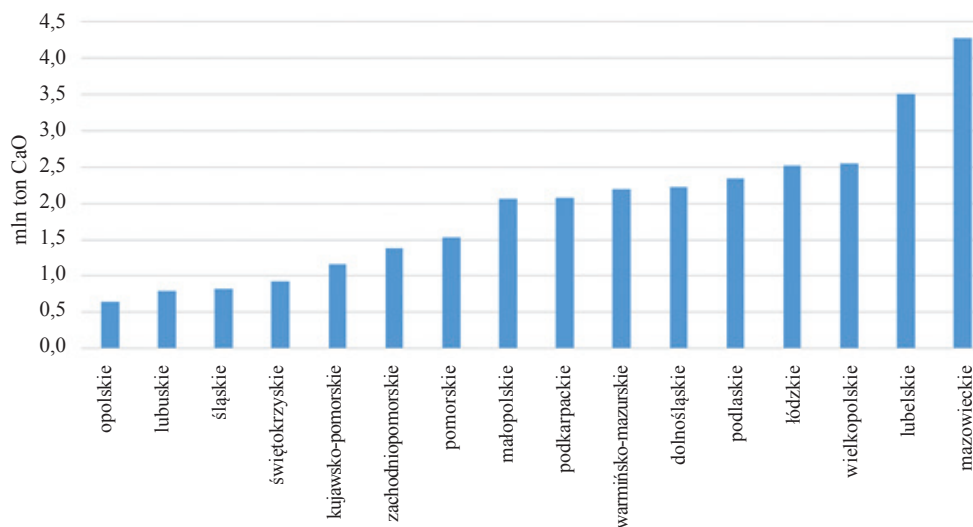
W tabeli 3 zamieszczono oszacowane ilości wapna niezbędne do regulacji odczynu gleb do poziomu optymalnego dla danej kategorii agronomicznej gleb .

Tabela 3
Zapotrzebowanie na wapno nawozowe (tony) dla gleb użytków rolnych w zależności od odczynu i kategorii agronomicznej

Kategoria gleby	Odczyn pH_{KCl}					Razem
	<4,5	4,5–5,1	5,2–5,6	5,7–6,1	6,2–6,6	
	CaO (t)					
Bardzo lekkie	1 864 570,0	246 739,1	-	-	-	2 111 309,2
Lekkie	10 096 557,1	4 109 371,7	786 959,8	-	-	14 992 888,7
Średnie	5 238 707,6	3 348 300,1	1 393 678,6	47 8249,0	-	10 458 935,4
Ciężkie	1 715 109,4	1 287 150,2	378 691,5	29 712,1	21 635,0	3 432 298,2
Razem	18 914 944,0	8 991 561,0	2 559 330,0	507 961,0	21 635,0	30 995 431,3

Źródło: opracowanie własne Ochal na podstawie danych Ochal i in., 2017 (26)

Jak wynika z tabeli 3, oszacowane zapotrzebowanie na środki wapnujące wynosi w skali kraju prawie 31 mln ton. Zapotrzebowanie to jest zróżnicowane w zależności od województwa i waha się w granicach od 0,6 mln ton w województwie opolskim do 4,3 mln ton w województwie mazowieckim (rys. 4).



Rys. 4. Zapotrzebowanie na wapno w województwach (mln ton)

Źródło: opracowanie własne Ochal na podstawie danych Ochal i in., 2017 (26)

Wpływ zakwaszenia gleb na środowisko przyrodnicze

Wpływ odczynu gleby na emisję biogenów do wód

Aby rośliny mogły efektywnie pobierać dostarczone składniki mineralne niezbędne jest dostosowanie pH gleby do ich wymagań. Nieuregulowany odczyn gleby powoduje, że rośliny nie mogą pobrać z roztworu glebowego większości składników pokarmowych dostarczonych w nawozach. Przyjmuje się, że optymalne pH_{KCl} dla pobierania fosforu wynosi 6,5 (2, 9, 16), a dla azotu – powyżej 5,0 (12, 20). W glebach o pH_{KCl} niższym od 6,5 fosfor zostaje silnie związany z cząstkami ilastymi gleby i razem z nimi, w wyniku erozji wodnej powierzchniowej, może być transportowany do wód powierzchniowych. W efekcie tego zjawiska zwiększa się pula dostępnych biogenów w wodach. Ponadto w wyniku takich procesów, jak: erozja wietrzna czy wymywanie w głąb profilu glebowego składniki, wniesione pierwotnie w celu odżywienia roślin, zostają bezpowrotnie stracone z cyklu produkcji rolniczej i rozproszone do środowiska wodnego (26). Komisja Ochrony Środowiska Morskiego Bałtyku HELCOM, działająca na rzecz ochrony wód Bałtyku, m.in. przed eutrofizacją, mając na uwadze konieczność ograniczania emisji azotu i fosforu do atmosfery i wód, wskazała wapnowanie jako jedno z szeregu rekomendowanych działań ograniczających dopływ biogenów do wód (16).

Zakwaszenie gleb a toksyczność metali

Odczyn uważany jest za jeden z głównych czynników wpływających na formę, w jakiej metale ciężkie występują w środowisku glebowym oraz ich dostępność dla roślin (3, 10, 19). Zmiana odczynu gleby do lekko kwaśnego i kwaśnego powoduje wzrost stężenia w roztworze glebowym ruchomych form metali ciężkich dostępnych dla roślin, a tym samym ryzyko ich zwiększonego pobierania i akumulacji w roślinach (3, 10). Nadmierna zawartość metali ciężkich wywołuje u roślin objawy toksyczności, w tym chlorozy i nekrozy części nadziemnych oraz powoduje obniżenie jakości plonów. Zakwaszenie gleb zwiększa mobilność metali ciężkich, szczególnie kadmu, niklu i cynku, w środowisku glebowym, w związku z czym mogą one być łatwiej pobierane przez rośliny oraz mikroorganizmy glebowe i transportowane w głąb profilu glebowego do wód gruntowych i powierzchniowych. Nadmierna koncentracja metali w produktach roślinnych zwiększa ryzyko przechodzenia jonów szkodliwych metali do łańcucha pokarmowego zwierząt i człowieka. Konsekwencją silnego zakwaszenia gleb jest także ograniczenie ich aktywności mikrobiologicznej (1, 18). Wapnowanie gleb jest jedną z metod ograniczania rozprzestrzeniania się metali w środowisku przyrodniczym.

Najczęściej objawy toksyczności u roślin powoduje glin. Jest on uwalniany z kompleksu sorpcyjnego w glebach bardzo kwaśnych wykazujących $\text{pH}_{\text{KCl}} < 4,5$. Istotą toksycznego wpływu glinu na system korzeniowy jest zastępowanie w apoplaście korzenia kationów zasadowych, głównie wapnia Ca^{2+} przez kationy glinu Al^{3+} . Reakcja roślin na nadmiar glinu ujawnia się poprzez obumieranie włóśników korzeniowych, w rezultacie zahamowanie wzrostu całego systemu korzeniowego, a w skrajnych przypadkach obumieranie korzeni roślin (13). Nadmierne pobieranie przez rośliny jonów glinu w glebach bardzo kwaśnych i ograniczenie wzrostu systemu korzeniowego w głąb profilu glebowego zmniejsza możliwość wykorzystania przez roślinę zapasów wody glebowej i zawartych w niej łatwo dostępnych dla roślin składników mineralnych, takich jak azotany oraz redukuje pobieranie składników trudniej dostępnych dla roślin, takich jak fosfor i potas, warunkujących wykorzystanie przez roślinę pobranego azotu.

Odczyn gleby a gazowe straty azotu

Azot podlega w glebie naturalnym przemianom mikrobiologicznym, które mogą być znacząco modyfikowane przez odczyn gleby (29). W procesie transformacji azotu jako związki przejściowe powstają gazowe formy azotu, tlenki azotu (NO_x – NO i NO_2) oraz tlenek diazotu (N_2O), które prowadzą do strat tego składnika z pól uprawnych. W procesie nityfikacji uwalniane są głównie tlenki azotu, zaś w wieloetapowym procesie denityfikacji, czyli redukcji azotanów do azotu cząsteczkowego N_2 (tzw. denityfikacja całkowita) uwalniane są duże ilości podtlenku azotu (N_2O). W naturalnych warunkach gleby kwaśne zawierają niewielkie ilości azotu azotanowego stanowiącego substrat denityfikacji. Natomiast w przypadku zastosowania nawożenia

azotowego w glebach uprawnych bardzo kwaśnych i kwaśnych, wykazujących wartości $\text{pH}_{\text{KCl}} < 5,5$, w procesie denitryfikacji do atmosfery emitowane są nadmierne ilości tlenków azotu. Udowodniono, że w glebach kwaśnych, do $\text{pH} 5,8\text{--}6,0$, przeważa emisja podtlenków azotu nad emisją azotu cząsteczkowego (13). Podtlenek azotu jest jednym z głównych gazów cieplarnianych a NO, jak i N₂O przyczyniają się do niszczenia warstwy ozonowej (4, 17, 22). Regulacja odczynu gleby do wartości optymalnych w przypadku gleb rolniczych w zakresie pH od 5,6 do 7,2 powoduje zwiększenie sekwestracji CO₂ oraz zmniejszenie emisji tlenków azotu do atmosfery (26).

Czynniki antropogeniczne a zakwaszenie gleb

Degradacja chemiczna gleb, która obejmuje również zakwaszenie, występuje zazwyczaj wtedy, gdy procesy naturalne zostaną wzmocnione przez czynniki antropogeniczne (7, 23, 26). Antropogeniczne przyczyny zakwaszenia gleb nasiliły się w drugiej połowie XX wieku. Za główne przyczyny tego zjawiska uznaje się emisje do atmosfery SO₂, NO_x i NH₃, które trafiają na powietrzną gleby w postaci suchego oraz mokrego opadu, tzw. „kwaśnych deszczy”. Kwaśne deszcze są skutkiem reakcji z cząsteczkami wody deszczowej produktów emisji gazowych, jak SO₂, NO_x i NH₃, powstających ze spalania paliw stałych i ciekłych w elektrowniach, zakładach przemysłowych i paleniskach domowych oraz w pojazdach mechanicznych. Według danych GUS (14) w 2016 r. emisja zanieczyszczeń gazowych w tys. ton dla dwutlenku siarki wyniosła 800000, a tlenków azotu – 723000 ton, co w przeliczeniu na 1 hektar powierzchni naszego kraju daje opad równy 26,5 kg SO₂ · ha⁻¹ · rok⁻¹ i 23,1 kg NO_x · ha⁻¹ · rok⁻¹ i stanowi 1330 moli H⁺ · ha⁻¹ · rok⁻¹. Dla zneutralizowania zakwaszającego działania tlenków siarki i azotu należałoby zastosować około 37,2 kg CaO · ha⁻¹ · rok⁻¹.

Podsumowanie

Gleby użytkowane rolniczo w Polsce wykazują zakwaszenie wynikające z przebiegu procesów glebotwórczych i oddziaływań antropogenicznych; stosowania nawozów azotowych i potasowych, emisji tlenków SO₂, NO_x pochodzących ze spalania przez przemysł i transport surowców energetycznych, głównie węgla i pochodnych ropy naftowej oraz emisji NH₃ z rolnictwa. Około 50% gleb użytków rolnych charakteryzuje się bardzo kwaśnym i kwaśnym odczynem ($\text{pH} \leq 5,5$).

Zakwaszenie gleb wciąż pozostaje dużą barierą w produkcji roślinnej i stanowi zagrożenie dla środowiska (15, 16, 22, 24). Produkcyjne, a także ekologiczne skutki zakwaszenia gleby przedstawiają wypadkowy efekt działania szeregu procesów, często współzależnych i trudnych do jednoznacznego zdefiniowania (22, 24). W przypadku produkcji rolniczej obserwowane niekorzystne zjawiska mierzone są najczęściej wielkością utraconego plonu uprawianej rośliny, małą zawartością materii organicznej w glebach oraz zwiększonym wymywaniem składników mineralnych.

Zakwaszenie gleb powoduje szereg ujemnych skutków dla środowiska. Zaliczyć do nich należy: niską efektywność wykorzystania azotu i fosforu, zwiększenie gazowych strat azotu, mobilność glinu i innych metali w glebie, pogorszenie jakości wód powierzchniowych wskutek ograniczonego wykorzystania przez rośliny makroelementów i migracji metali ciężkich.

Wapnowanie jest niezwykle ważnym zabiegiem oddziałującym na jakość i funkcje gleb oraz środowisko przyrodnicze. W warunkach naszego kraju w świetle przedstawionych informacji włączenie tego zabiegu do podstawowej praktyki rolniczej jest konieczne, ponieważ oszacowane sumaryczne zapotrzebowanie krajowego rolnictwa na wapno wynosi około 31 mln ton CaO, tj. około 62 mln ton w masie nawozów. Optylizmem napawa fakt, że na lata 2019–2023 został ustanowiony program rekompensujący zakup wapna do poprawy jakości gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych. Po zakończeniu tegoż okresu konieczna będzie ocena skuteczności prowadzonych działań.

Literatura

1. Bednarek W., Lipiński W.: Kationy wymienne w glebie poddanej oddziaływaniu zróżnicowanego nawożenia mineralnego. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 1998, **456**: 147-151.
2. Boguszewski W.: Wapnowanie gleb. PWRiL, Warszawa 1980, ss. 176.
3. Chłopecka A.: Wpływ różnych związków kadmu, miedzi, ołowiu i cynku na formy tych metali w glebie oraz na ich zawartość w roślinach. IUNG Seria R, 1994.
4. Clough T. J., Kelliher F. M., Sherlock R. R., Ford C. D.: Lime and soil moisture effects on nitrous oxide emissions from a urine patch. Soil Science Society of America Journal, 2004, **68**: 1600-1609.
5. Filipek T.: Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb. Nawozy i Nawożenie, 2001, **8**: 5-26.
6. Filipek T.: Dynamika antropogenicznych przyczyn zakwaszenia gleb w Polsce w ostatnich latach. Nawozy i Nawożenie, 2005, **23**: 67-83.
7. Filipek T., Skowrońska M.: Aktualnie dominujące przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo w Polsce. Acta Agrophysica, 2013, **20(2)**: 283-294.
8. Fotyła M., Igras J.: Narodowy Program Wapnowania gleb w Polsce na lata 2007–2013. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2006, **1(11)**: 45-48.
9. Fotyła M., Zięba S.: Przyrodnicze i gospodarcze podstawy wapnowania gleb. Wyd. PWRiL, Warszawa, 1988, ss. 250. ISBN 83-09-01397-3.
10. Gębski M.: Czynniki glebowe oraz nawozowe wpływające na przyswajanie metali ciężkich przez rośliny. Post. Nauk Roln. 1998, **5**: 3-16.
11. Goulding K. W. T., Blake L.: Soil acidification and the mobilisation of toxic metals caused by acid deposition and fertiliser application. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 1998, **456**: 19-27.
12. Grzebisz W., Diatta J. B., Szczepaniak W.: Produkcyjne i ekologiczne uwarunkowania wapnowania gleb gruntów ornych. Nawozy i Nawożenie, 2006 **27**: 69-85.
13. Grzebisz W., Szczepaniak W., Diatta J.B.: Środowiskowe skutki zakwaszenia gleb uprawnych. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, **34(8)**: 19-26.
14. GUS, 2012–2016. ZWS, Ochrona środowiska. Warszawa. ISSN 0867-3217.
15. GUS: Rocznik Statystyczny Rolnictwa. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2016–2018.
16. HELCOM Baltic Marine Environment Protection Commission (2013): HELCOM revised palette of measures for reducing phosphorus and nitrogen losses from agriculture.
17. Huetsch B. W., Zhang S., Feng K., Yan F., Schubert S.: Effect of pH on denitrification losses from different arable soils. Plant Nutrition Developments in Plant and Soil Sciences, 2001, **92**: 962-963.

18. Jadczyzszyn J., Jończyk K., Filipiak K., Siebielec G., Stuczyński T., Koza P.: Zasady racjonalnego użytkowania i kształtowania obszarów problemowych rolnictwa. Instrukcja upowszechnieniowa 178. Wydawnictwo IUNG-PIB, Puławy 2000, s. 27-54.
19. Kabata-Pendias A., Pendias H.: Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wyd. II. PWN Warszawa 1999.
20. Kopiński J.: Ocena zmian efektywności wykorzystania azotu w produkcji rolnej Polski. Rocz. Nauk. SERiA, 2017, **19(1)**: 88-94. ISSN 1508-3535.
21. Lipiński W.: Odczyn i zasobność gleb w świetle badań stacji chemiczno-rolniczych. Nawozy Nawożenie, 2000, **3**: 89-105.
22. Mørkved P., Dörsch P., Bakken L.: The N₂O product ratio of nitrification and its dependence on long-term changes in soil pH. Soil Biology and Biochemistry, 2007, **39(8)**: 2048-2057.
23. Ochal P.: Regeneracyjne wapnowanie gleb w Polsce. Instrukcja upowszechnieniowa nr 198 IUNG-PIB, Puławy 2012.
24. Ochal P.: Wapnowanie podstawowym elementem dobrych praktyk rolniczych. Studia i Raporty IUNG-PIB 2014, **37(11)**: 9-18.
25. Ochal P.: Aktualny stan i zmiany żyzności gleb w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2015 **45(19)**: 9-26.
26. Ochal P., Jadczyzszyn T., Jurga B., Kopiński J., Matyka M., Madej A., Rutkowska A., Smreczak B., Łysiak M.: Środowiskowe aspekty zakwaszenia gleb w Polsce. Puławy 2017, Maszynopis.
27. Rutkowska A.: Ocena przestrzennego zróżnicowania odczynu gleb w Polsce w latach 2008–2016. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy 2018, **56(10)**: 9-20.
28. Siebielec G., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Kowalik M., Kaczyński R., Koza P., Ukalska-Jaruga A., Łysiak M., Wójtowicz U., Poręba L., Chabros E. Raport z III etapu realizacji zamówienia „Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce w latach 2015-2017”.
29. Soon, Y.K., & Arshad, M.A. (2005): Tillage and liming effects on crop and labile soil nitrogen in an acid soil. Soil & Tillage Research, **80**: 23-33.
30. Terelak H.: Właściwości chemiczne gleb oraz zawartość metali ciężkich i siarki w glebach i roślinach. Puławy 1998. Maszynopis.

Adres do korespondencji:

dr inż. Piotr Ochal
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786842
e-mail: pochal@iung.pulawy.pl

AUTOR	ORCID
Piotr Ochal	0000-0002-5246-319
Bożena Smreczak	0000-0001-8972-8636