

Agnieszka Rutkowska

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

OCENA PRZESTRZENNEGO ZRÓŻNICOWANIA ODCZYNU GLEB
W POLSCE W LATACH 2008-2016*

Słowa kluczowe: zakwaszenie gleb, monitoring gleb, Krajowa Stacja Chemiczno-Rolnicza

Wstęp

Odczyn gleby jest podstawowym i najłatwiej mierzalnym wskaźnikiem jej jakości, decydującym o przebiegu wielu procesów glebowych. Kwasowość gleby wpływa na kierunek przemian materii organicznej oraz przyswajalność składników pokarmowych (1, 4). Zakwaszenie gleb wiąże się ze spadkiem ich urodzajności i produktywności, a wartości pH_{KCl} poniżej 4,5 wskazują na niebezpieczeństwo degradacji środowiska glebowego. Zakwaszenie gleb w Polsce ma charakter przede wszystkim naturalny i wynika ze specyfiki procesu glebotwórczego i rodzaju skał macierzystych, które wykazują bardzo często odczyn kwaśny i bardzo kwaśny. Ze względu na przewagę opadów nad parowaniem, zdecydowana większość gleb Polski jest poddawana procesom wymywania składników zasadowych w głąb profilu glebowego. Proces ten nasila się na glebach lekkich, silnie przepuszczalnych, dominujących w pokrywie glebowej naszego kraju (56,6%) (3).

Czynniki antropogeniczne, głównie stosowanie nawozów azotowych oraz emisja kwasotwórczych zanieczyszczeń, tj. tlenków siarki i azotu, przy znacznym spadku zużycia środków wapnujących po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej, pogłębiają proces zakwaszania gleb w naszym kraju. Wszystkie te czynniki sprawiają, że produktywność większości gleb Polski nie osiąga nawet połowy produktywności gleb innych krajów europejskich (2, 6).

W opracowaniu przedstawiono stan zakwaszenia gleb w Polsce w latach 2008-2016 oraz trendy zmian odczynu gleby na podstawie wyników badań pochodzących z monitoringu gleb, prowadzonego przez Okręgowe Stacje Chemiczno-Rolnicze.

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

Właściwą część pracy poprzedzono omówieniem roli wapnia jako składnika pokarmowego w przebiegu podstawowych procesów fizjologicznych roślin oraz zaburzeń w jego pobieraniu na skutek zmian chemicznych w glebie spowodowanych jej zakwaszeniem.

Wapń w roślinie i w glebie

Wapń występuje w roślinie w formie jonowej oraz związany chemicznie. Dwuwartościowy kation Ca^{2+} pełni funkcje: strukturalną, stanowiąc element budulcowy ścian i błon komórkowych, biochemiczną – jako kation towarzyszący dla organicznych i nieorganicznych anionów w wakuoli oraz fizjologiczną – pełniąc rolę wewnątrzkomórkowego przekaźnika w cytozolu (11).

Najważniejszą funkcją fizjologiczną tego pierwiastka jest stabilizacja błon komórkowych. Wapń obniża stopień dysocjacji biokolooidów, co zmniejsza elastyczność i ogranicza przepuszczalność błon komórkowych. W cytoplazmie, wolny kation Ca^{2+} bierze udział w procesie zamykania aparatów szparkowych.

Wapń jest równocześnie wtórnym przekaźnikiem informacji w regulacji podstawowych procesów metabolicznych w odpowiedzi na różne czynniki środowiskowe i hormonalne. Kation wapnia, łącząc się ze specyficznym białkiem w cytozolu – kalmoduliną, tworzy kompleks kontrolujący aktywność wielu enzymów jak kinazy białkowe, kinaza NAD, fosfatazy i Ca^{2+} -ATPazy. Wolne jony Ca^{2+} wpływają na aktywność fizjologiczną niektórych fitohormonów, na przykład wspólnie z cytokininami przeciwdziałają starzeniu się liści. Wapń jest kofaktorem niektórych enzymów związanych z hydrolizą ATP, fosfolipidów i węglanów (9).

Protopektyniany wapnia formują blaszkę środkową, która rozdziela po podziale nowo powstałe komórki, bierze zatem udział w procesach podziałów mitotycznych komórek merystematycznych oraz we wzroście komórek. W doświadczeniach prowadzonych w kulturach wodnych wykazano, że usunięcie wapnia z pożywki prowadzi do niemal natychmiastowego zahamowania procesu wydłużania się korzenia (5).

Rośliny rosnące w warunkach właściwego zaopatrzenia w wapń zawierają w masie nadziemnej pomiędzy 0,1% a 5,0% tego składnika (16). Zawartość wapnia w roślinie jest wypadkową procesów pobierania jonów Ca^{2+} z gleby oraz jego transportu w roślinie. Ilość przemieszczanego wapnia zależy w znacznym stopniu od ilości pobieranej przez roślinę wody. Im większa intensywność transpiracji i dostępność wody, tym silniejszy związek pomiędzy ilością transpirowanej wody, a wapniem zawartym w ksylemie (15).

Zaopatrzenie rośliny w wapń uwarunkowane jest wieloma czynnikami, m.in. potrzebami pokarmowymi, dynamiką wzrostu korzenia, intensywnością transpiracji czy stężeniem kationów wapnia w glebie. Czynniki te zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Czynniki wpływające na dostępność oraz pobieranie wapnia przez rośliny

Czynnik	Warunki optymalnego pobierania wapnia	Czynniki ograniczające pobieranie wapnia
Środowiskowe		
Naturalna zasobność gleby	- wzrost zawartości cząstek ilastych - gleby mineralno-organiczne, bogate w przyswajalny Ca	gleby piaszczyste z natury ubogie w Ca
Materia organiczna	bogate w Ca resztki roślin dwuliściennych, głównie z rodziny motylkowatych, bobowatych, kosmowatych, kapustowatych	- ubogie w Ca resztki zbóż - mineralizacja materii organicznej (powstają jony HCO_3^- , które tworzą związki rozpuszczalne z Ca)
Odczyn gleby	zakres optymalny pH 5,7-7,2	- poniżej pH 5,5 dostępność Ca ogranicza Al, Fe, Mn - powyżej pH 4,2 Ca tworzy związki nierozpuszczalne
Wilgotność gleby	- proporcjonalna do stopnia nasilenia transpiracji - warunki tlenowe (70-90%PPW)	- niedobór wody zmniejsza dostępność Ca - nadmiar wody uruchamia związki antagonistyczne względem Ca
Temperatura	niewielki wpływ na pobieranie Ca	-
Warunki wzrostu korzeni	- optymalne warunki termiczne i wodne - gleby zasobne w inne składniki mineralne: N, P, Mg	- odczyn gleby poniżej pH 5,5 - obecność zagęszczonych warstw gleby
Żywieniowe		
Azot	azot w formie N- NO_3^- (zwiększa pobieranie Ca)	azot w formie N- NH_4^+ (silnie redukuje pobieranie Ca)
Fosfor, siarka	dobra zasobność w P i S	nadmiar anionów P i S tworzy z Ca związki o małej rozpuszczalności
Magnez, potas	gleby umiarkowanie zasobne w Mg i K	gleby bogate w Mg i K – konkurencja o nośnik
Sód, zasolenie	niska zawartość Na	nadmiar Na

Źródło: Grzebisz, 2008 (5)

Niedobory wapnia w glebach uprawnych występują bardzo rzadko, co wynika z wystarczającej zawartości tego składnika, jeżeli chodzi o potrzeby fizjologiczne roślin. Ujawniające się skutki niedoboru wapnia w roślinach spowodowane są zatem nie tyle niedoborem tego pierwiastka w środowisku, co działaniem czynników ograniczających wzrost systemu korzeniowego, z czego najważniejsze jest nadmierne zakwaszenie gleby. Skutki zakwaszenia gleb utożsamiane są najczęściej z mobilizacją i immobilizacją makroskładników pokarmowych i metali ciężkich. W glebach kwaśnych wymywaniu ulegają kationy zasadowe, zwłaszcza Ca^{2+} i Mg^{2+} . Procesy te prowadzą do zmian wysycenia kationowej pojemności sorpcyjnej gleb, miejsce kationów zasadowych zajmują wówczas jony Al^{3+} , H^+ , Mn^{2+} , które w miarę obniżania się wartości pH pojawiają się w toksycznych ilościach w roztworze glebowym (14). Glin wykazuje największą toksyczność w glebach o odczynie poniżej 4,2 (12), a odporność roślin na wysokie stężenia Al^{3+} związana jest z dostatecznym

zaopatrzeniem w fosfor. W warunkach wysokiego stężenia glinu dochodzi do deformacji oraz zahamowania wzrostu systemu korzeniowego roślin, co skutkuje utrudnionym pobieraniem potasu. Pojawienie się w glebie jonów glinu w większych ilościach powoduje niedobory magnezu, co objawia się chlorotyczną pasiastością liści, zwłaszcza u młodych roślin (11, 13).

Zasadniczą rolę w zakwaszaniu gleb odgrywają czynniki naturalne. Ponad 90% obszaru Polski zajmują gleby wytworzone ze skał osadowych, głównie okruchowych luźnych, naniesionych przez lodowce ze Skandynawii, z których kationy zasadowe ulegały wymywaniu. Proces ten zachodzi szczególnie intensywnie w rejonach o dużej ilości opadów, dlatego też najwięcej gleb kwaśnych występuje na obszarach nadmorskim oraz górskim (Lekan i Terelak 1997). Jedyną skuteczną metodą przeciwdziałania zakwaszeniu gleb w naszym kraju jest stosowanie środków wapnujących. Należy podkreślić, że ze względu na stosunkowo niewielkie potrzeby pokarmowe roślin uprawnych w stosunku do Ca, wapnowanie gleby należy rozpatrywać jako zabieg służący regulacji jej odczynu.

Zgodnie z obowiązującymi zaleceniami nawozowymi zabieg regeneracyjnego wapnowania powinien być przeprowadzany na wszystkich glebach o odczynie poniżej 5,0, które charakteryzują się niekorzystnymi właściwościami biologicznymi oraz fizykochemicznymi (8).

Materiał i metody

Oceny zmian odczynu gleb w kraju w latach 2008-2016 dokonano na podstawie wyników monitoringu prowadzonego przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą oraz Okręgowe Stacje Chemiczno-Rolnicze. W latach 2008, 2012 i 2016, z wytypowanych gospodarstw objętych programem monitoringu pobrano łącznie 3909 prób glebowych, we wszystkich próbach oznaczono pH gleby w 1M KCl wg polskiej normy PN-ISO 10390: 1997.

Dane wejściowe poddano wstępnej analizie w celu ustalenia, czy rozkład danych jest zgodny z rozkładem normalnym (test Kołmogorowa - Smirnowa) i czy w obrębie badanych cech występują obserwacje odstające (test Grubbsa). W wartościach pH gleby nie stwierdzono obserwacji odstających, ani łącznie ani w poszczególnych latach badań. Podstawowe charakterystyki statystyczne dla analizy odczynu gleb w latach badań podano w tabeli 2.

Tabela 2

Podstawowe charakterystyki statystyczne dla odczynu gleb

Parametr	Lata poboru prób			
	2008	2012	2016	razem
Liczba prób	3909	3774	3899	11582
Średnia	5,87	5,91	5,91	5,89
Mediana	6,0	6,0	6,0	6,0
Odchylenie standardowe	1,06	1,04	1,08	1,06
Współczynnik zmienności (%)	18,1	17,7	18,3	18,0
Zakres	2,9-9,1	2,9-9,1	3,3-8,2	2,9-9,1
Standaryzowana skośność	-3,54	-4,20	-4,66	-7,17
Standaryzowana kurtoza	-13,55	-12,61	-13,62	-22,98
Poziom istotności testu Grubbsa	1,0	1,0	1,0	1,0
Poziom istotności testu K-S	0,0	0,0	0,0	0,0

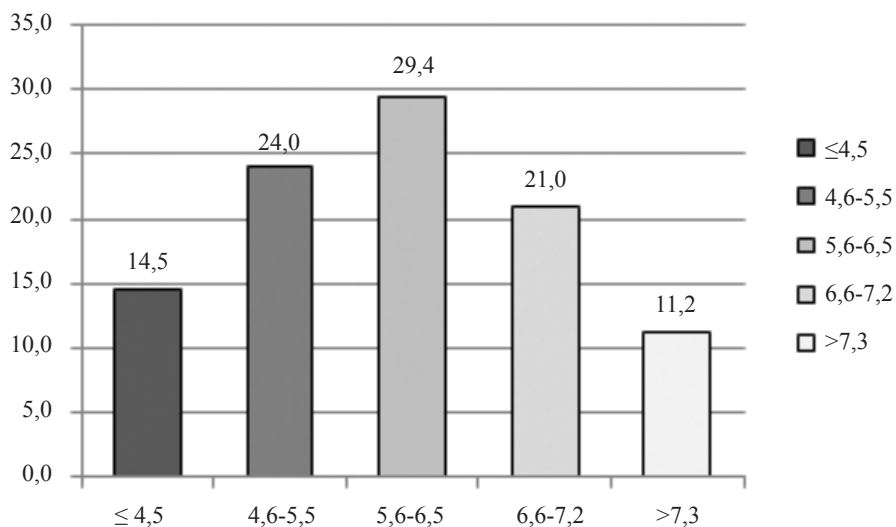
Źródło: opracowanie własne

Średnia wartość pH była zbliżona do mediany i podobna w latach. Na podstawie analizy wariancji oraz testu Mooda nie stwierdzono istotnych różnic średnich wartości pH w latach.

Wyniki badań

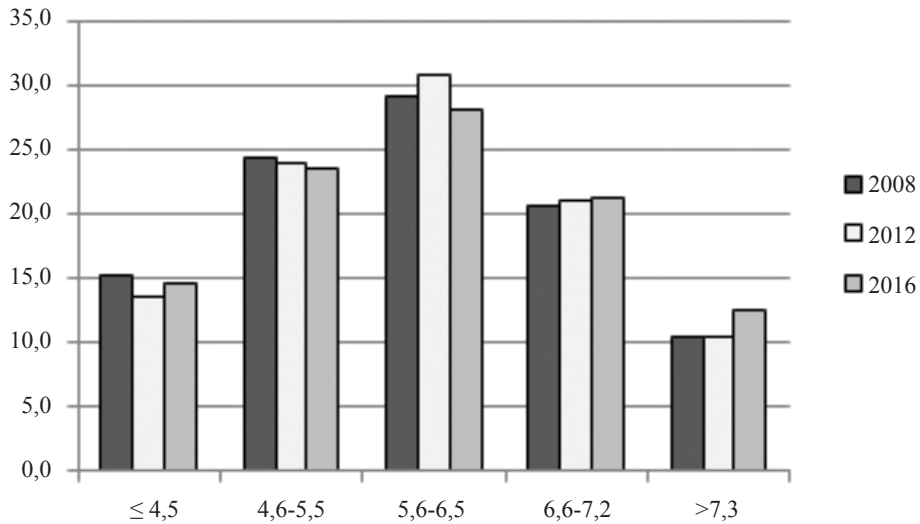
Na podstawie zgromadzonego materiału określono udział całkowitej liczby pobranych prób glebowych w poszczególnych klasach odczynu gleb w Polsce. Gleby bardzo kwaśne i kwaśne stanowiły prawie 40% wyników, lekko kwaśne niecałe 30%, a gleby o odczynie obojętnym i zasadowym nieco ponad 30%. Rozkład prób w klasach odczynu gleb łącznie dla lat badań przedstawiono na rysunku 1.

Analizując zmiany pH gleby w latach badań stwierdzono, że w 2012 roku zmniejszył się udział prób w grupie gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych w stosunku do roku 2008, zwiększył się udział gleb lekko kwaśnych, a udział gleb obojętnych i zasadowych nie uległ zmianie. W 2016 roku, w stosunku do roku 2012, zwiększył się udział gleb o odczynie bardzo kwaśnym, był on jednak niższy niż w roku 2008. Równocześnie zmniejszył się odsetek gleb kwaśnych, a szczególnie lekko kwaśnych, natomiast znacznie wzrósł udział prób w grupie gleb o odczynie zasadowym (Rys. 2).



Rys. 1. Procentowy udział prób w klasach odczynu gleby

Źródło: opracowanie własne



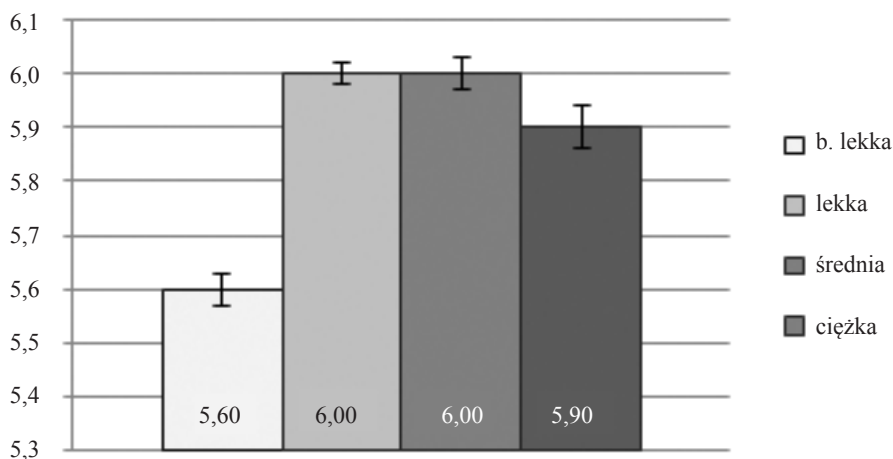
Rys. 2. Procentowy udziału prób między latami badań w klasach kwasowości odczynu gleb

Źródło: opracowanie własne

Odczyn gleby był ściśle związany z kategorią agronomiczną badanych prób (Rys. 3). Najniższym odczynem charakteryzowały się gleby bardzo lekkie – średnio 5,6; gleby lekkie i średnie wykazywały średni odczyn 6,0, a gleby ciężkie – 5,9. Średni odczyn gleb w kraju okazał się lekko kwaśny i niewiele zróżnicowany w latach.

W tabeli 3 zestawiono wartości pH gleb dla poszczególnych województw w latach badań. Najwyższym odczynem charakteryzowały się gleby województwa kujawsko-pomorskiego, a najniższym małopolskiego.

Wartość odczynu gleby w województwach należy wiązać w dużym stopniu ze zużyciem środków wapnujących. Zgodnie z danymi GUS w województwie kujawsko-pomorskim notuje się najwyższe po województwach opolskim i dolnośląskim zużycie nawozów wapniowych. W województwie małopolskim z kolei, w latach 2004-2015 zużycie środków wapnujących było najmniejsze w kraju (Tab. 4).



Rys. 3. Średni odczyn gleb poszczególnych kategorii agronomicznych

Źródło: opracowanie własne

Istotny, rosnący trend pH w latach 2008-2016 wystąpił w pięciu województwach: dolnośląskim, kujawsko-pomorskim, łódzkim i zachodniopomorskim. Nieznaczny (nieistotny statystycznie) wzrost pH gleby w latach zanotowano również w województwach lubelskim i lubuskim.

Odwrotną zależność, tj. wzrost zakwaszenia gleb w latach 2012 i 2016 w stosunku do roku 2008 obserwuje się w województwach: małopolskim, mazowieckim i śląskim. W województwie małopolskim w latach 2008-2015 zastosowano najmniejsza w Polsce dawkę CaO – średnio 17,7 kg na ha, a w latach 2012-2015 zaledwie 13,6 kg CaO·ha⁻¹ (Tab. 4).

W pozostałych regionach, podobnie jak w całym kraju, pH gleb w latach nie uległo zmianie.

Analizując stopień zakwaszenia gleb w regionach na podstawie przedziałów ufności Tukeya stwierdzono, że w Małopolsce i na Mazowszu występuje największy odsetek gleb kwaśnych, a w kujawsko-pomorskim – gleb o odczynie obojętnym i zasadowym. Metodą analizy wariancji i analizy rang badano zróżnicowanie pH gleb między latami badań w obrębie województw oraz porównywano przeciętną kwasowość gleb w województwach. Do oszacowania różnic między średnimi wykorzystano wielokrotny test Tukeya, a do oceny istotności różnic w latach między medianami zastosowano test Mooda. Na podstawie analizy skupień wyznaczono 4 grupy województw różniących się poziomem oraz trendem zmian pH gleb (mediany) w latach (Tab. 5).

Tabela 3

Średnie wartości pH w województwach w latach badań

Województwo	Lata			
	2008	2012	2016	średnio
Dolnośląskie	5,57 ^a	5,57 ^a	5,92 ^b	5,68 ^{AB}
Kujawsko-pomorskie	6,38 ^a	6,40 ^a	6,64 ^b	6,47 ^D
Lubelskie	5,77 ^a	5,82 ^a	5,92 ^a	5,84 ^B
Lubuskie	5,87 ^a	5,86 ^a	6,00 ^a	5,91 ^B
Łódzkie	5,53 ^a	5,60 ^{ab}	5,72 ^b	5,62 ^{AB}
Małopolskie	5,51 ^a	5,52 ^a	5,42 ^a	5,48 ^A
Mazowieckie	5,58 ^{ab}	5,68 ^b	5,48 ^a	5,57 ^A
Opolskie	6,20 ^a	6,20 ^a	6,15 ^a	6,18 ^C
Podkarpackie	5,78 ^a	5,80 ^a	5,78 ^a	5,79 ^B
Podlaskie	5,77 ^a	5,88 ^a	5,58 ^a	5,74 ^{AB}
Pomorskie	5,75 ^a	5,97 ^a	5,95 ^a	5,89 ^B
Śląskie	6,11 ^a	6,11 ^a	5,99 ^a	6,07 ^C
Świętokrzyskie	6,22 ^a	6,22 ^a	6,22 ^a	6,22 ^C
Warmińsko-mazurskie	5,79 ^a	5,99 ^a	5,86 ^a	5,88 ^B
Wielkopolskie	6,22 ^b	6,08 ^a	6,11 ^{ab}	6,13 ^C
Zachodniopomorskie	5,79 ^a	5,85 ^a	6,29 ^b	5,97 ^{BC}
POLSKA	5,87 ^a	5,91 ^a	5,91 ^a	5,89

*małymi literami oznaczono istotne różnice między średnimi wartościami pH dla lat w obrębie poszczególnych województw, natomiast duże litery określają istotne różnice między pH gleby dla województw, przy czym te same litery wskazują na brak istotnych różnic między średnimi.

Źródło: GUS (5)

Tabela 4

Średnie zużycie nawozów wapniowych w latach 2004-2007, 2008-2011 i 2012-2015

Województwo	Lata			średnio
	2004-2007	2008-2011	2012-2015	
Dolnośląskie	104	64,0	78,7	82,2
Kujawsko-pomorskie	58,6	49,4	69,0	59,0
Lubelskie	44,8	29,0	40,8	38,2
Lubuskie	39,6	38,2	38,7	38,8
Łódzkie	65,3	26,1	43,0	44,8
Małopolskie	25,9	10,5	16,7	17,7

Tabela 4 cd.

Mazowieckie	38,4	20,2	32,5	30,4
Opolskie	131	120	114	122
Podkarpackie	27,2	14,4	21,9	21,2
Podlaskie	26,4	13,9	17,2	19,2
Pomorskie	60,7	47,5	65,7	58,0
Śląskie	59,8	34,5	47,6	47,3
Świętokrzyskie	30,6	7,00	22,3	20,0
Warmińsko-mazurskie	71,4	41,8	44,1	52,4
Wielkopolskie	63,6	48,7	95,8	69,3
Zachodniopomorskie	79,5	62,5	70,4	70,6
POLSKA	57,9	39,2	51,2	49,4

*Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (5)

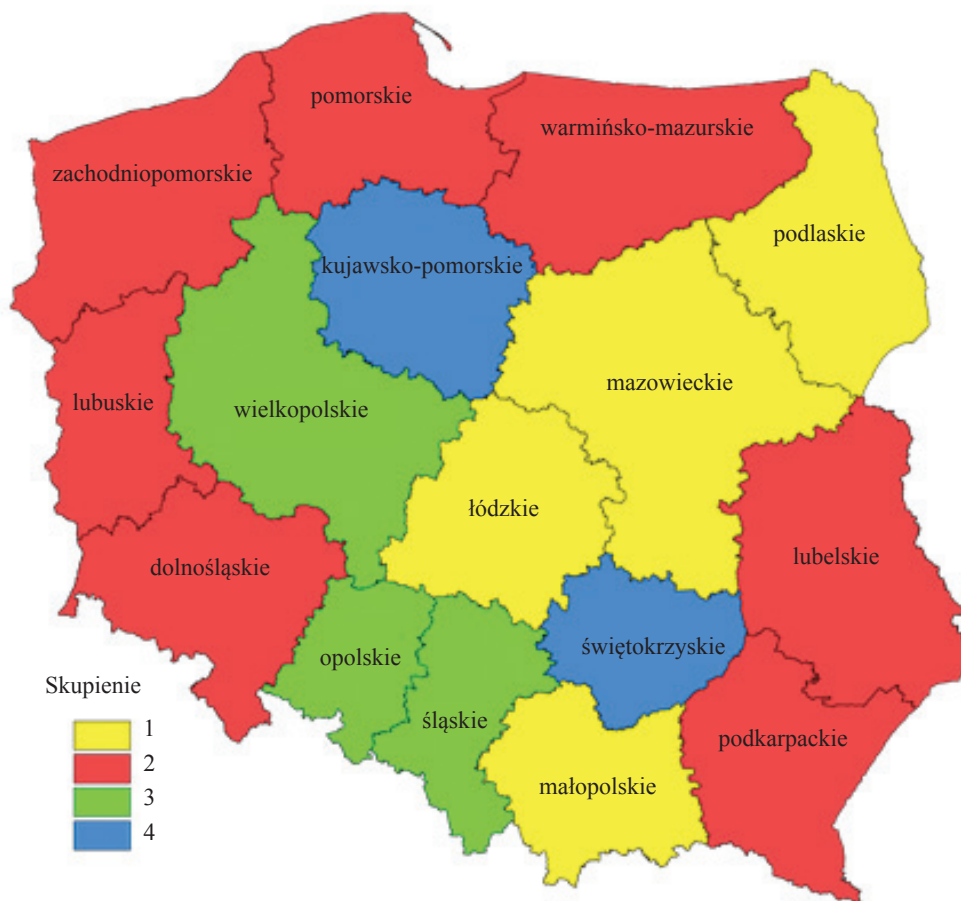
Tabela 5

Przeciętne wartości pH gleb w latach i w skupieniach

Skupienie	Lata		
	2008	2012	2016
I	5,55	5,65	5,50
II	5,79	5,86	6,01
III	6,27	6,20	6,20
IV	6,55	6,60	6,70

Źródło: opracowanie własne

Skupienie I obejmuje 4 województwa: łódzkie, małopolskie, mazowieckie i podlaskie, z niskim odczynem gleb w latach (pH w przedziale 5,50-5,65). Drugą grupę stanowi 7 województw: dolnośląskie, lubelskie, lubuskie, podkarpackie, pomorskie, warmińsko-mazurskie i zachodniopomorskie o odczynie na poziomie średniej krajowej oraz postępującym, choć nieznacznym wzrostem pH w latach. Opolszczyzna, Śląsk i Wielkopolska to kolejne skupienie, o podobnej wartości odczynu gleb w latach (pH równe około 6,2), a w IV skupieniu znalazły się dwa województwa (kujawsko-pomorskie i świętokrzyskie), z przewagą gleb o odczynie obojętnym i rosnącym trendem pH w badanych okresach (Rys. 4)



Rys. 3. Skupienia województw różniących się odczynem oraz trendem zmian pH gleb
Źródło: opracowanie własne

W województwie świętokrzyskim wśród gruntów ornych największy udział, wynoszący ok. 42%, mają gleby średnio ciężkie natomiast gleby lekkie zajmują zaledwie 7%. Dlatego na tym obszarze, pomimo małego zużycia nawozów wapniowych, odczyn gleby w latach 2008-2015 kształtuje się cały czas na poziomie 6,22.

Warto również zwrócić uwagę, że w województwie opolskim, które jest najlepiej ocenianym województwem w kraju pod względem kultury rolnej, w latach 2008-2015 stosowano najwięcej nawozów wapniowych, dzięki czemu gleby na tym obszarze od wielu lat wykazują odczyn na poziomie pH 6,15-6,20.

Przeprowadzona w niniejszym opracowaniu analiza trendu zmian odczynu gleby na podstawie monitoringu gleb prowadzonego przez Okręgowe Stacje Chemiczno – Rolnicze potwierdza, że wyższy odczyn gleby związany jest z większym zużyciem nawozów wapniowych. Należy jednak podkreślić, że trend wzrostowy występujący

w województwach dolnośląskim, lubelskim, lubuskim, podkarpackim, pomorskim, warmińsko-mazurskim i zachodniopomorskim wiąże się jedynie z nieznacznym wzrostem odczynu gleby, natomiast gleby te pozostają w tej samej klasie odczynu gleb w latach 2008-2016.

Podsumowanie

Po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej i zaprzestaniu dotowania zakupu nawozów wapniowych, zużycie środków wapnujących w naszym kraju uległo znacznej redukcji. Poziom zużycia CaO w nawozach wapniowych obniżył się w latach 2008 - 2015 w stosunku do lat 2004-2007 średnio o 40%. W niektórych województwach np. małopolskim, przeciętna dawka CaO stosowana w tym okresie zmniejszyła się o blisko 50%. Niekorzystne relacje głównych składników pokarmowych w nawozach, nakładające się na naturalne warunki klimatyczno-glebowe, sprzyjają dalszemu zakwaszaniu gleb. Wyniki monitoringu gleb w Polsce, prowadzone w latach 2008-2016 przez Okręgowe Stacje Chemiczno-Rolnicze wskazują, że gleby bardzo kwaśne i kwaśne stanowią w naszym kraju prawie 40%, a gleby lekko kwaśne niecałe 30%. W niektórych województwach silne zakwaszenie gleby utrzymuje się od wielu lat na tym samym poziomie, adekwatnie do zużycia nawozów wapniowych. Wapnowanie gleb jest jedyną skuteczną metodą ograniczania negatywnych skutków polegających na zmniejszeniu produktywności gleb oraz ich odporności na procesy prowadzące do ich degradacji.

Priorytetem jest wprowadzenie regeneracyjnego programu wapnowania gleb w Polsce, którym powinny być objęte wszystkie gleby o odczynie pH poniżej 5,0. Zakrojony na szeroką skalę program wapnowania wymaga jednak wsparcia finansowego z budżetu państwa, na co zwracano uwagę już w 2006 r., podczas organizowanej w IUNG-PIB konferencji naukowo-technicznej poświęconej Narodowemu Programowi Wapnowania Gleb w Polsce”.

Literatura

1. Blake L., Goulding, K.W.T. Mott, C.J.B., Johnston A.E.: Changes in soil chemistry accompanying acidification over more than 100 years under woodland and grass at Rothamsted Experimental Station. UK. European Journal of Soil Science, 1999, **50**: 401-412.
2. Filipek T.: Dynamika antropogenicznych przyczyn zakwaszenia gleb w Polsce w ostatnich latach, Nawozy i Nawożenie, 2005, **23**: 67-83
3. Filipek T., Fotyma M., Lipiński W.: Stan, przyczyny i skutki zakwaszenia gleb w Polsce. Nawozy i nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2006, **2**: 7-38
4. Filipek T., Skowrońska M.: Optymalizacja odczynu gleby i gospodarki składnikami pokarmowymi w rolnictwie polskim. Post. Nauk Roln. 2009, **1**: 25-23.
5. Grzebisz W.: Nawożenie roślin uprawnych. 1 Podstawy nawożenia. PWRiL, Poznań, 2008.
6. Grzebisz W., Szczepaniak W, Diatta J. B.: Środowiskowe skutki zakwaszenia gleb uprawnych. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, **34(8)**: 19-26
7. GUS: Środki produkcji w rolnictwie, Warszawa
8. Jadczyzyn T., Ochal P.: Zakwaszenie gleb i potrzeby wapnowania, Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, **34(8)**: 9-18

9. Kopcewicz J., S. Lewak (red.). Fizjologia roślin. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
 10. Lekan S., Terelak H. Zróżnicowanie środowiska glebowo-rolniczego w Polsce. W: Udział polskiego rolnictwa w emisji związków azotu i fosforu do Bałtyku, Igras J., Pastuszek M. (red.) Wydawnictwo IUNG-PIB, Puławy, 2009.
 11. Marschner H. Mineral nutrition of higher plants, 2nd edn. London: Academic Press, 1995.
 12. Pokojńska U.: Różne aspekty toksyczności glinu dla roślin. PNR, 1989, **35(1)**: 97-104.
 13. Robson A.D.: Soil acidity and plant growth. Academic Press Australia, 1989.
 14. Troeh F. R., Thompson L. M. (red.): Soils and Soil Fertility, Blackwell Publishing, 2005.
 15. White P.J.: The pathways of calcium movement to the xylem. Journal of Experimental Botany, 2001, **52**: 891-899.
 16. White P.J., Broadley M.R.: Calcium in Plants. Annals of Botany, 2003, **92**:487-511.
-

Adres do korespondencji:

*dr Agnieszka Rutkowska.
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 840
e-mail: agrut@iung.pulawy.pl*