

Piotr Ochal, Jerzy Kopiński

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

WPLYW ZAKWASZENIA GLEB NA ŚRODOWISKO I PRODUKCJĘ ROŚLINNĄ*

Słowa kluczowe: wapnowanie, potrzeby wapnowania, stan zakwaszenia gleb w Polsce, wpływ zakwaszenia na środowisko, wpływ zakwaszenia na plonowanie roślin

Wstęp

Polska jest krajem o znacznym potencjale produkcyjnym rolnictwa, wynikającym z relatywnie dużej, w stosunku do 27 krajów UE, powierzchni użytków rolnych (33). Areal gruntów ornych w kraju systematycznie zmniejsza się i, jak podaje Główny Urząd Statystyczny (GUS), ich powierzchnia w 2016 r. wyniosła 10 734 tys. ha, wobec 12 222 tys. ha w roku 2005 (20). Oprócz wielkości powierzchni użytków rolnych, ważna jest ich jakość. Syntetyczny wskaźnik jakości polskich gleb oceniany jest na 60-70 punktów w stosunku do 100 punktów u naszych zachodnich i południowych sąsiadów. W połączeniu z niesprzyjającymi warunkami klimatycznymi nie powinno zatem dziwić, że produktywność większości gleb Polski nie osiąga nawet połowy produktywności gleb innych krajów europejskich. Kolejnym bardzo istotnym aspektem wpływającym na jakość gleb użytkowanych rolniczo w Polsce jest ich pochodzenie polodowcowe. Ponad 90% obszaru Polski zajmują gleby wytworzone ze skał osadowych, głównie okrucowych luźnych przyniesionych przez lodowce ze Skandynawii (1, 3, 5, 6, 9, 23, 25, 34, 39, 40). W związku z tym, większość naszych gleb z natury jest silnie lub umiarkowanie zakwaszona, o małej zdolności zatrzymywania wody i składników pokarmowych oraz niskiej zawartości substancji organicznej (1, 3, 6, 9). Nakładają się na to także procesy antropogenicznego zakwaszania, a jednym z ważniejszych jest działalność przemysłu i emisja związków SO_2 , NO_x i NH_3 (4, 6). Antropogeniczna emisja tlenków azotu pochodzi prawie wyłącznie ze spalania surowców energetycznych, głównie węgla i pochodnych ropy naftowej (3, 6).

Odczyn gleb jest podstawowym i najłatwiej mierzalnym wskaźnikiem ich jakości, a wartości $\text{pH}_{\text{KCl}} < 4,5$ wskazują na niebezpieczeństwo degradacji środowiska glebowego

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.6 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

(3, 6, 9, 13, 35, 39). Według Grzebisza i in. (14) pierwotnym skutkiem środowiskowym zakwaszenia gleb jest redukcja (zmniejszenie wielkości) systemu korzeniowego, mająca charakter przestrzenny, a prowadząca do dysfunkcji rośliny w całym profilu glebowym. W konsekwencji prowadzi to do zwiększonego wymycia azotanów, chlorków i siarczanów oraz do braku możliwości pobierania kationów, głównie wapnia i magnezu, w ilościach niezbędnych do prawidłowego pobierania i gospodarki azotem. Jest to szczególnie niebezpieczne w warunkach utrzymujących się od wielu lat niekorzystnych relacji pomiędzy N:P:K w stosowanych w Polsce nawozach mineralnych na niekorzyść fosforu i potasu (28).

W celu przeciwdziałania zakwaszeniu i jego negatywnym skutkom w środowisku należałoby stosować na szeroką skalę nawozy zawierające związki wapnia lub wapnia i magnezu (środki wapnujące, wapna nawozowe); (3, 6, 9, 15, 22). Wapnowanie jest ważnym zabiegiem zarówno agrotechnicznym, jak i środowiskowym, o wielostronnym wpływie na właściwości fizyczne, fizykochemiczne i biologiczne gleby. Sprzyja zwiększeniu aktywności mikrobiologicznej środowiska glebowego, aktywizacji procesów mineralizacji, zwiększeniu dostępności i efektywności części składników mineralnych. Wapnowanie poprzez wpływ na zmniejszenie rozpuszczalności soli metali ciężkich jest również czynnikiem zmniejszającym ich przemieszczanie w łańcuchu troficznym (11, 13, 14).

Skutki zakwaszenia gleb, będące wypadkową procesów akumulacji i neutralizacji protonów (H^+) w środowisku, rozpatruje się najczęściej w bardzo wąskim, uproszczonym ujęciu biorąc pod uwagę tylko straty produkcyjne w rolnictwie. Według Grzebisza i in. (15) zbiory roślin uprawianych na glebach o odczynie kwaśnym i bardzo kwaśnym mogą być mniejsze o 15-25%. Jednak tak wąskie ujęcie zjawiska zakwaszenia gleb uprawnych pomija szereg negatywnych skutków wywołanych procesami zakwaszającymi gleby, prowadzącymi do zakłócenia funkcjonowania nie tylko pól uprawnych, lecz także ekosystemów do nich przyległych, wodnych czy też atmosfery (14).

Celem niniejszego opracowania jest wykazanie aspektu środowiskowego zabiegu wapnowania wynikającego z oszacowanych strat głównych składników pokarmowych NPK w wyniku silnego zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo.

Material i metody badań

Podstawą analizy porównawczej przeprowadzonej na poziomie województw były dane GUS (16, 17, 18, 19, 20) dotyczące: zbiorów upraw poszczególnych roślin, zużycia nawozów mineralnych (NPK) i wapniowych, pogłowia zwierząt inwentarskich, oceny stanu zakwaszenia. Analiza obejmowała okresy lat 2006-2011 i 2012-2015. Do obliczenia produktywności roślinnej zastosowano współczynniki przeliczeniowe plonów roślin na jednostki zbożowe (21). Masę i ilości składników nawozowych w nawozach naturalnych obliczono na podstawie standardowych współczynników ich zawartości w kale i moczu dla poszczególnych kategorii użytkowych zwierząt, przyjętych w modelu „*SFOM*” (24, 37).

Plon potencjalnie możliwy w warunkach optymalnego odczynu gleby i plon potencjalnie utracony z powodu niewłaściwego odczynu obliczono według równań:

$$y = \frac{x}{\left(1 - \frac{a}{100}\right)} \quad z = y - x$$

gdzie: y – plon potencjalnie możliwy w warunkach optymalnego (uregulowanego) odczynu;

x – plon rzeczywisty;

a – współczynnik utraty plonu wyrażony w %;

z – plon potencjalnie utracony z powodu nieuregulowanego odczynu gleb.

Ze względu na to, że równania regresji (zależności) pomiędzy wielkością plonów roślin a pH gleby mają postać wielomianów drugiego stopnia, a odpowiadające im wykresy są krzywoliniowe (9), współczynnik utraty plonu „a” wyliczono na podstawie równań (funkcji regresji) wyznaczonych przez Grzebisza i in. (15) w wyodrębnionych zakresach (przedziałach) odczynu gleb pH (Tab. 1).

Tabela 1

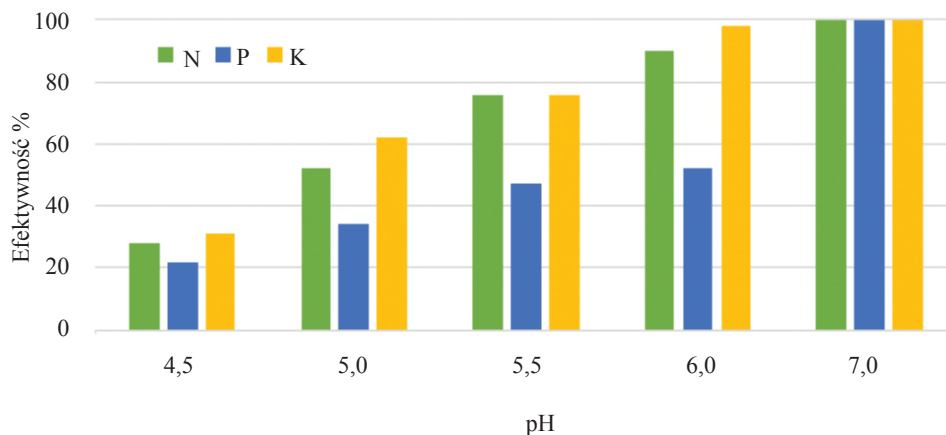
Współczynniki utraty plonu (a) w zależności od zakresu pH gleb

Ocena zakwaszenia gleb	Zakres pH	Współczynnik (a) (%)
Bardzo kwaśne	< 4,5	25
Kwaśne	4,6-5,5	15
Lekko kwaśny	5,6-6,5	5
Obojętne	6,6-7,2	1
Zasadowe	> 7,2	2

Źródło: obliczenia własne na podstawie opracowania Grzebisza i in., 2005 (15)

Wpływ odczynu gleby na efektywność wykorzystania podstawowych składników pokarmowych

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 (Rys. 1). Z trzech podstawowych składników mineralnych (N, P, K), najsilniej na zakwaszenie gleby reaguje fosfor (13, 36). Także O c h a l (38) na podstawie wyników analiz glebowych wykonanych przez OSChR (Okręgowa Stacja Chemiczno-Rolnicza), wykazał ścisłą zależność między odczynem gleby, a zawartością w niej przyswajalnych form fosforu (Tab. 2).



Rys. 1. Względna efektywność plonotwórcza NPK w zależności od odczynu gleby

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Grzebisza i in., 2013 (13)

Tabela 2

Stan zasobności w fosfor gleb zaliczanych do różnych przedziałów odczynu

Odczyn	Udział próbek gleby zaliczonych do klas zawartości fosforu (%)					Ogółem
	b. niska	niska	średnia	wysoka	b. wysoka	
B. kwaśny	17,82	34,69	27,19	12,82	7,48	20,21
Kwaśny	11,69	31,26	29,81	15,71	11,52	29,39
L. kwaśny	4,61	19,17	27,01	21,19	28,02	28,00
Obojętny	2,31	10,15	19,03	19,87	48,64	14,74
Zasadowy	3,52	9,14	17,21	19,25	50,89	7,66
Ogółem	8,94	23,76	25,94	17,55	23,81	100,0

Źródło: opracowanie własne (38)

Gleby bardzo kwaśne w ponad 50%, a gleby kwaśne w ponad 40% próbek wykazują bardzo niską i niską zawartość przyswajalnego fosforu. W glebach o odczynie obojętnym i zasadowym udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości fosforu nie przekracza natomiast 13% (38). Próbkę gleb o uregulowanym odczynie w ponad 50% przypadków charakteryzowały się bardzo wysoką zawartością fosforu. Analizy te potwierdziły wyniki uzyskane przez Filipkai i n. (5). Wynika z nich, że zwiększając odczyn gleby poprawia się gospodarowanie tym składnikiem, gdyż jest on lepiej wykorzystywany przez rośliny i nie ulega rozproszeniu do przyległych ekosystemów, powodując np. eutrofizację.

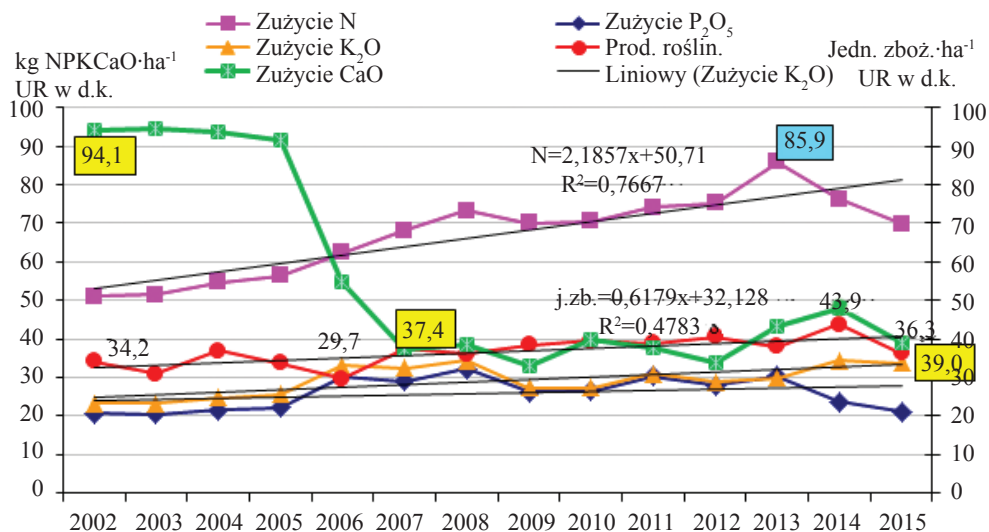
Efektywność zabiegu wapnowania najczęściej ocenia się jako przyrost plonów roślin (efekt) w następstwie przeprowadzonego zabiegu (nakład), a nie strat składników mineralnych. Według Grzebisza (13) na wyprodukowanie 1 tony nasion rzepaku (wraz plonem ubocznym) roślina potrzebuje netto 60 kg N·ha⁻¹, a na 1 t pszenicy – ok. 30 kg. Biorąc powyższe wartości wskaźnikowe pod uwagę (Tab. 1), można wyliczyć tzw. zapotrzebowanie brutto, które przy założeniu wykorzystania na poziomie np.

70% na glebach kwaśnych, wynosi odpowiednio 85 i 43 kg N·ha⁻¹. Różnice pomiędzy wartościami brutto i netto wskazują, jakie ilości azotu mogą być potencjalnie wymyte z takiej gleby kwaśnej po zastosowaniu nawozów mineralnych (13).

Znaczenie zabiegu wapnowania dla kształtowania produktywności roślinnej i ochrony środowiska

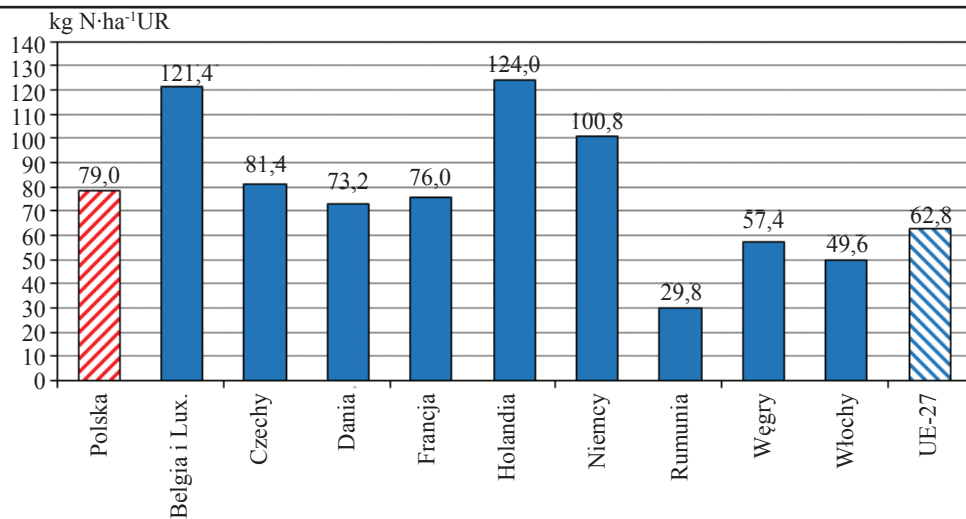
W Polsce w latach 2000-2015 wartość produkcji globalnej roślinnej w rolnictwie w cenach bieżących wzrosła o 66%, podczas gdy wzrost liczony w cenach stałych wyniósł tylko 3% (18). Nadmierne uzależnienie dochodów od dotacji z funduszy unijnych (2) w konsekwencji może osłabiać wysiłki (działania) na rzecz poprawy efektywności technicznej produkcji rolniczej (26).

Wzrostowi intensywności produkcji roślinnej od początku XXI w., a więc także w okresie funkcjonowania w UE, nie towarzyszyło podobnie duże tempo wzrostu plonowania roślin (29, 30); (Rys. 2). Obecnie Polska należy do pięciu czołowych krajów UE pod względem wysokości stosowanych dawek azotu w nawozach mineralnych i ustępuje jedynie Belgii z Luksemburgiem, Czechom, Niemcom i Holandii (Rys. 3). Konsekwencją tego zjawiska jest wzrost tzw. nawozochłonności produkcji roślinnej, czyli zużycia nawozów mineralnych na jednostkę podstawowej produkcji roślinnej, jaką stanowi 100 kg ziarna zbóż, czyli tzw. jednostka zbożowa (j. zb.). Wskaźnik ten jest „odwrotnością” efektywności nawożenia obliczonej z funkcji produkcji (8, 32).



Rys. 2. Zmiany intensywności produkcji wg poziomu nawożenia mineralnego NPKCa i produktywności roślinnej w Polsce w latach 2002-2015

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (17, 19)



Rys. 3. Zużycie nawozów azotowych w latach 2010-2014 w wybranych krajach UE

Źródło: opracowanie własne (27) na podstawie danych EF (10)

Bezpośrednim skutkiem nadmiernej nawozochłonności jest zwiększenie zagrożeń dla środowiska glebowego i wodnego (14) oraz zmniejszenie efektywności nakładów poniesionych na produkcję. Pełną ocenę nawozochłonności umożliwi dopiero uwzględnienie pogłębiającego się zróżnicowania regionalnego (29, 33). Do istotnych czynników o charakterze organizacyjnym, wpływających na niską efektywność nawożenia należy niewłaściwy stan agrochemiczny gleb, tj. niska zasobność w makro- i mikrośladniki nawozowe oraz niski odczyn pH gleb, czyli ich nadmierne zakwaszenie. Dlatego mniejszą efektywność działania składników w nawozach mineralnych (w procesie produkcji roślinnej) tylko częściowo można tłumaczyć gorszymi warunkami glebowo-klimatycznymi (31). Na glebach kwaśnych w miarę obniżenia ich odczynu, pobieranie składników pokarmowych przez rośliny ulega silnemu zakłóceniu, co skutkuje zmniejszeniem plonów (13, 14, 22), a niewykorzystane składniki nawozowe stanowią zagrożenie dla środowiska glebowego i wodnego. W Polsce, pomimo poprawy wykorzystania azotu w latach 2012-2014, które w odniesieniu do lat 2000-2003 wzrosło o 7 p.p. i znacznie przekroczyło poziom 60% (Tab. 3), tkwią jeszcze znaczne rezerwy szczególnie w poprawie stanu agrochemicznego gleb (28).

Utrzymując się od 2007 roku niskie w skali kraju zużycie nawozów wapniowych (Rys. 2), widoczne po wejściu Polski do UE i zaniechaniu dotowania nawozów wapniowych oraz niekorzystne relacje pomiędzy głównymi makrośladnikami nawozowymi (N:P:K); (Tab. 3) powodują, że stało się ono w znaczącym stopniu, m.in. z uwagi na działanie tzw. prawa minimum Liebig'a (15), czynnikiem limitującym produktywność roślin, efektywność techniczną i ekonomiczną wykorzystania głównie azotu, ale też innych makro- i mikrośladników (12). Utrzymywanie takiej sytuacji sprzyja wysokim nadwyżkom bilansowym azotu, a w konsekwencji rzutuje na bezpieczeństwo żywnościowe, w tym żywności oraz środowiskowe (28).

Tabela 3

Zmiany efektywności wykorzystania azotu brutto w produkcji rolniczej Polski na tle wybranych wskaźników stanu agrochemicznego gleb

Wyszczególnienie	Okres lat				Zmiana*
	2000-2003	2004-2007	2008-2011	2012-2015	
Efektywność wykorzystania N	56,8	57,0	58,6	64,0**	7,2
Udział gleb o:					
niskim i b. niskim odczynie pH	52	49	45	39	-13
niskiej i b. niskiej zasobności w fosfor (%)	34	33	32	31	-3
niskiej i b. niskiej zasobności w potas (%)	46	43	42	39	-7
Relacja w nawozach mineralnych					
N	1	1	1	1	-
P ₂ O ₅	0,36	0,39	0,37	0,32	-0,04
K ₂ O	0,45	0,48	0,42	0,41	-0,04

* różnica wielkości bezwzględnych pomiędzy latami 2012-2014 a 2002-2004

** - dotyczy lat 2012-2014

Źródło: opracowanie własne (27, 28) na podstawie danych GUS (18, 19, 20)

Różnice poziomu intensywności produkcji, mierzonej zużyciem makroskładników nawozowych NPKCa pomiędzy województwami, są często ponad dwukrotne (Tab. 4). Z jednej strony funkcjonuje niskonakładowe rolnictwo tradycyjne, a z drugiej rolnictwo wysokointensywne, odpowiadające wyzwaniom ekonomiczno-rynkowym. Zasadniczo zmiany poziomu intensywności i koncentracji produkcji w Polsce zachodzą w linii północny zachód – południowy wschód. Tym niemniej poziom zużycia CaO w nawozach wapniowych obniżył się w latach 2012-2015 w odniesieniu do lat 2001-2005 we wszystkich województwach (poza lubuskim). Największe spadki zużycia wapna nawozowego, rzędu 70-80%, miały miejsce w województwach: śląskim, małopolskim, podkarpackim, warmińsko-mazurskim i podlaskim. Przeciętna dawka CaO w Polsce uległa obniżeniu dla tych porównywanych okresów o 53% (Tab. 4). Średni poziom zużycia NPK, zarówno w nawozach mineralnych, jak i naturalnych, w latach 2006-2011 i 2012-2015 nie uległ większym zmianom, chociaż na poziomie poszczególnych województw można zaobserwować różne kierunki i tendencje tych zmian, wynikające ze zmian strukturalnych produkcji rolniczej (27).

Tabela 4

Zużycie nawozów mineralnych NPKCa i naturalnych w województwach Polski w różnych okresach lat XXI w.

Województwo	Zużycie nawozów wapniowych (kg CaO·ha ⁻¹ UR w dk)			Zmiana* %	Nawożenie mineralne i naturalne razem (kg NPK·ha ⁻¹ UR w dk)		Nawożenie mineralne (kg NPK·ha ⁻¹ UR w dk)	
	2001-2005	2006-2011	2012-2015		2006-2011	2012-2015		2006-2011
Dolnośląskie	175,6	75,2	73,6	-58,1	185,2	190,6	151,8	164,1
Kujawsko-pomorskie	98,9	49,1	61,5	-37,8	277,4	265,2	175,1	174,9
Lubelskie	70,2	34,3	36,8	-47,5	179,0	185,1	115,7	133,7
Lubuskie	31,7	39,9	36,3	14,7	172,9	172,9	126,8	126,9
Łódzkie	112,7	35,3	37,3	-66,9	242,3	238,7	137,8	140,4
Małopolskie	84,5	10,7	14,6	-82,7	154,2	149,0	73,1	80,0
Mazowieckie	53,6	27,4	26,4	-50,7	212,7	212,1	107,8	105,1
Opolskie	199,8	104,8	98,2	-50,8	250,8	259,6	186,7	204,7
Podkarpackie	70,9	13,7	18,4	-74,0	124,1	119,7	66,2	76,1
Podlaskie	58,6	14,7	16,2	-72,3	239,3	249,5	96,3	101,7
Pomorskie	90,5	52,1	57,5	-36,5	204,2	206,6	134,9	143,0
Śląskie	290,9	43,2	44,5	-84,7	199,7	207,5	118,3	126,6
Świętokrzyskie	65,0	10,0	18,9	-71,0	179,2	180,6	101,1	114,7
Warmińsko-mazurskie	160,1	40,3	42,2	-73,7	221,2	192,9	125,4	106,3
Wielkopolskie	74,8	51,8	58,4	-21,9	296,1	286,9	163,4	158,4
Zachodniopomorskie	114,3	71,8	66,4	-41,9	163,8	178,2	130,4	148,7
Polska	93,6	41,1	44,0	-53,0	215,2	215,5	127,4	132,6

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (17, 19)

* - zmiana w latach 2012-2015 w odniesieniu do lat 2001-2005

W Polsce w latach 2006-2011 i 2012-2015 produkcja roślinna potencjalnie utracona z powodu nieuregulowanego odczynu gleb przekraczała rocznie średnio 4 j. zb. · ha⁻¹ UR w dk (Tab. 5) i była na ogół dwukrotnie większa niż tracona z powodu niekorzystnych warunków pogodowych (31). Relatywnie najmniejsze potencjalne straty produkcji roślinnej ponoszone są w województwie kujawsko-pomorskim, a największe w województwie łódzkim. Wyniki te potwierdzają opinię K r a s o w i c z a (33), że czynniki organizacyjne w większym stopniu oddziałują na wyniki ekonomiczno-produkcyjne niż warunki przyrodnicze, w tym pogodowe. Relacje pomiędzy zużyciem środków produkcji (w tym nawozów mineralnych) a wielkością uzyskiwanej produkcji rzutują nie tylko na efektywność i opłacalność produkcji, ale także na tzw. nawozochłonność, a tym samym na możliwość ograniczenia generowanych przez rolnictwo zagrożeń środowiskowych, powodowanych przez utratę niewykorzystanych w produkcji rolniczej składników nawozowych.

Tabela 5

Rzeczywista i potencjalnie możliwa produktywność roślinna w województwach w okresach lat 2006-2011 i 2012-2015

Województwo	Globalna produktywność roślinna rzeczywista (j. zb. · ha ⁻¹ UR w dk) (x)		Globalna produktywność roślinna potencjalnie możliwa (j. zb. · ha ⁻¹ UR w dk)(y = x + z)		Produkcja roślinna potencjalnie utracona przez zakwaszenie gleb (j. zb. · ha ⁻¹ UR w dk) (z)	
	2006-2011	2012-2015	2006-2011	2012-2015	2006-2011	2012-2015
Dolnośląskie	45,4	49,7	49,9	54,0	4,5	4,3
Kujawsko-pomorskie	43,1	48,0	46,4	51,5	3,3	3,5
Lubelskie	34,5	39,3	38,8	43,6	4,3	4,3
Lubuskie	32,3	38,7	36,1	42,4	3,8	3,7
Łódzkie	34,6	36,5	40,3	41,8	5,7	5,2
Małopolskie	31,8	33,3	36,0	37,6	4,2	4,3
Mazowieckie	31,1	32,8	35,9	37,4	4,7	4,5
Opolskie	54,0	60,2	57,8	64,3	3,9	4,0
Podkarpackie	32,7	33,2	38,1	38,1	5,3	4,9
Podlaskie	29,5	29,9	33,8	33,8	4,3	4,0
Pomorskie	38,2	41,7	42,8	46,1	4,6	4,4
Śląskie	38,7	39,3	42,9	43,2	4,2	3,9
Świętokrzyskie	32,8	33,7	36,3	37,1	3,4	3,4
Warmińsko-mazurskie	33,7	34,6	37,6	38,1	3,9	3,5
Wielkopolskie	41,0	46,1	45,4	50,2	4,4	4,1
Zachodniopomorskie	38,5	44,6	42,7	48,7	4,2	4,2
Polska	36,7	39,5	41,0	43,5	4,3	4,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (17, 19)

Nawozochłonność produkcji roślinnej, liczona w stosunku do całkowitej dawki NPK z nawozów mineralnych i naturalnych, wynosiła w latach 2006-2011 średnio $5,9 \text{ kg} \cdot \text{j. zb.}^{-1}$, a w latach 2012-2015 zmniejszyła się o $0,4 \text{ j. zb.}$ i wyniosła średnio $5,5 \text{ kg} \cdot \text{j. zb.}^{-1}$ (Tab. 6). Mimo jej zmniejszenia w okresie krótko- i długoterminowym, jak uważa *F o t y m a i i n .* (8), jest ona zbyt duża, jeżeli weźmiemy pod uwagę, że warunki naturalne do produkcji rolnej są gorsze niż w wielu krajach UE, a jednostkowe pobranie składników mineralnych jest stałe. W Polsce najmniejszą całkowitą nawozochłonność produkcji roślinnej mają województwa Polski południowo-wschodniej: małopolskie i podkarpackie, a jednocześnie województwa intensywnego rolnictwa, tj. dolnośląskie i zachodniopomorskie (Tab. 6). Natomiast wysoka całkowita nawozochłonność przede wszystkim notowana jest w województwach mających znaczne zasoby nawozów naturalnych. Inną niepokojącą konsekwencją tego stanu są zagrożenia środowiskowe, wynikające z możliwości migracji do wód powierzchniowych i gruntowych niewykorzystanych w procesie produkcji, a więc potencjalnie traconych składników nawozowych wprowadzanych do gleby w postaci nawozów mineralnych i naturalnych. Szczególnie niebezpieczne są biogenne związki azotu i fosforu. Obecnie wartość możliwych strat składników nawozowych z powodu nieuregulowanego odczynu gleb szacowane są przeciętnie w Polsce na ok. $20 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR w dk}$ (użytki rolne w dobrej kulturze, wg definicji GUS); (Tab. 6) i znacznie przekraczają straty powodowane przez niekorzystne warunki pogodowe (31). W poszczególnych województwach wielkość strat składników NPK, w latach 2012-2015, mieściła się w przedziale od ok. 15 kg w województwach: dolnośląskim, lubuskim, podkarpackim i zachodniopomorskim do ok. $29 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR w dk}$ w łódzkim i podlaskim.

Możliwości ograniczenia niekorzystnego oddziaływania czynników pogodowych są dość ograniczone, istnieją natomiast możliwości poprawy odczynu gleb przez zabieg wapnowania. Uregulowanie odczynu gleb doprowadziłoby do poprawy plonowania roślin (wzrostu produktywności) i lepszego wykorzystania składników nawozowych, czyli spadku nawozochłonności. W konsekwencji znacznie ograniczyłoby to potencjalne zagrożenie środowiska z tytułu prowadzenia produkcji rolniczej, ponieważ wielkość strat składników bezpośrednio zależy od poziomu zakwaszenia gleb i całkowitej nawozochłonności produkcji roślinnej. W Polsce występuje dość duże zróżnicowanie regionalne, w tym zróżnicowanie potrzeb w zakresie odkwaszenia gleb (Tab. 7).

Tabela 6

Nawożochłonność i możliwe straty składników nawozowych powodowane przez zakwaszenie gleb w województwach Polski w okresach lat 2006-2011 i 2012-2015

Województwo	Rzeczywista całkowita nawożochłonność produkcji roślinnej (kg NPK·j. zb. ⁻¹)		Potencjalnie możliwa całkowita nawożochłonność produkcji roślinnej (kg NPK·j. zb. ⁻¹)		Możliwe straty składników nawozowych powodowane przez zakwaszenie gleb (kg NPK·ha ⁻¹ UR w dk)		%
	2006-2011	2012-2015	2006-2011	2012-2015	2006-2011	2012-2015	
Dolnośląskie	4,1	3,8	3,5	3,5	18,5	15,1	7,9
Kujawsko-pomorskie	6,4	5,5	5,7	5,1	21,3	17,9	6,8
Lubelskie	5,2	4,7	4,5	4,2	22,4	18,4	9,9
Lubuskie	5,4	4,5	4,2	4,1	20,3	15,2	8,8
Łódzkie	7,0	6,5	5,8	5,7	39,9	29,9	12,5
Małopolskie	4,8	4,5	3,9	4,0	20,4	16,9	11,4
Mazowieckie	6,8	6,5	5,8	5,7	32,3	25,7	12,1
Opolskie	4,6	4,3	4,0	4,0	18,0	16,3	6,3
Podkarpackie	3,8	3,6	3,0	3,1	20,3	15,4	12,8
Podlaskie	8,1	8,4	7,1	7,4	35,0	29,3	11,7
Pomorskie	5,3	5,0	4,6	4,5	24,8	19,9	9,6
Śląskie	5,2	5,3	4,4	4,8	21,5	18,7	9,0
Świętokrzyskie	5,5	5,4	4,8	4,9	18,8	16,7	9,3
Warmińsko-mazurskie	6,6	5,6	5,9	5,1	25,3	17,5	9,1
Wielkopolskie	7,2	6,2	6,0	5,7	31,8	23,5	8,2
Zachodniopomorskie	4,3	4,0	3,6	3,7	17,9	15,2	8,5
Polska	5,9	5,5	5,0	5,0	25,1	19,9	9,2

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (17, 19)

Tabela 7

Potrzeby wapnowania gleb w Polsce w latach 2012-2015

Województwo	Liczba przebadanych próbek (szt.)	Przebadana powierzchnia (tys. ha)	Potrzeby wapnowania (%)				
			konieczne	potrzebne	wskazane	ograniczone	zbędne
Dolnośląskie	135264	414,8	20	16	21	20	23
Kujawsko- pomorskie	149358	384,5	11	10	13	16	50
Lubelskie	109160	94,5	24	14	13	14	35
Lubuskie	45029	139,3	11	14	19	20	36
Łódzkie	80671	135,2	27	19	17	14	23
Małopolskie	30268	35,1	41	14	12	10	23
Mazowieckie	108519	209,5	27	17	16	14	26
Opolskie	105268	235,8	11	17	30	25	17
Podkarpackie	56632	87,0	45	16	12	10	17
Podlaskie	46882	98,0	22	19	17	13	29
Pomorskie	117646	330,9	17	19	21	17	26
Śląskie	43350	222,5	25	16	21	19	19
Świętokrzyskie	30966	39,4	24	11	11	12	42
Warmińsko- mazurskie	148031	409,5	18	16	18	18	30
Wielkopolskie	217482	590,0	12	12	15	19	42
Zachodniopomorskie	141367	436,0	12	13	17	18	40
POLSKA	1565893	3861,9	19	15	17	17	32

Źródło: dane GUS (16)

Obecnie najwięcej gleb kwaśnych i bardzo kwaśnych, wymagających pilnego wapnowania, występuje w województwach: małopolskim i podkarpackim, ale także w łódzkim, mazowieckim, podlaskim i warmińsko-mazurskim (Tab. 7). Z tego powodu w tych województwach potencjalne straty składników nawozowych przekraczają 10% w odniesieniu do ich rzeczywistego zużycia. Zwłaszcza w województwie łódzkim, mazowieckim, ale także w podlaskim i warmińsko-mazurskim nie należy zwiększać dawek nawozów azotowych – bez uwzględnienia ilości składników w posiadanych zasobach nawozów naturalnych – przed uregulowaniem odczynu gleb, gdyż wystąpi tu duża presja środowiskowa powodowana nadmiarem azotu. Ilościowo straty te w województwie podkarpackim czy małopolskim są mniejsze, z uwagi na bardzo niski poziom intensywności produkcji rolniczej, mierzonej zużyciem nawozów mineralnych i naturalnych. Relatywnie (procentowo) małe straty, pomimo bardzo intensywnej produkcji roślinnej, występują w województwie opolskim, które jest najlepiej ocenianym województwem w kraju pod względem kultury rolnej. Rozpatrując skutki produkcyjne i środowiskowe nawożenia trzeba koniecznie uwzględniać naturalne warunki do produkcji rolnej (w tym odczyn gleby) oraz wielkość uzyskiwanych plonów roślin (a więc możliwe potrzeby pokarmowe roślin).

Poprawa odczynu gleb w wyniku wapnowania jest najbardziej skuteczną i najprostszą metodą ograniczenia zagrożeń środowiskowych, wynikających ze słabego wykorzystania składników pokarmowych z nawozów. Ponadto nieuregulowany odczyn gleb ogranicza wykorzystanie innych tzw. pozanawozowych czynników produkcji, tj. postęp genetyczny i hodowlany, ochrona roślin (stosowanie biostymulatorów), itp. których znaczenie w Polsce ciągle wzrasta.

Podsumowanie

Aktualne problemy i przyszłe wyzwania związane z racjonalnym wykorzystaniem oraz zarządzaniem ekosystemami lądowymi dowodzą, że zakwaszenie stanowi jeden z ważniejszych elementów chemicznej degradacji gleb. Pomimo zmniejszonej ostatnio presji antropogenicznych przyczyn zakwaszenia, pozostaje ono dużą barierą w produkcji roślinnej i ochronie środowiska (3, 4). Produkcyjne, a także ekologiczne skutki zakwaszenia gleb przedstawiają wypadkowy efekt działania szeregu procesów, często współzależnych, a więc trudnych do jednoznacznego zdefiniowania (13, 14). Dlatego obserwowane niekorzystne zjawiska mierzone są najczęściej wielkością utraconego plonu uprawianej rośliny, małą zawartością oraz zwiększonym wymywaniem składników mineralnych.

Oszacowane sumaryczne zapotrzebowanie rolnictwa w Polsce na wapno, według różnych prognoz, waha się od 9,5 mln ton w wariancie minimalnym (regulacja odczynu $\text{pH}_{\text{KCl}} 5,1$) do 28,5 mln ton w wariancie maksymalnym (doprowadzenie gleb do optymalnej wartości pH dla danej kategorii agronomicznej) (5, 36, 39). Bez uregulowania odczynu trudno spodziewać się wzrostu konkurencyjności uzyskiwanych produktów roślinnych. Ponadto bez tego zabiegu nie jest możliwe zapewnienie optymalnej jakości produktów rolnych. Zakwaszenie gleb powoduje także szereg innych ujemnych skutków środowiskowych:

- obniżenie efektywności wykorzystania azotu i fosforu,
- zwiększenie gazowych strat azotu z nawozów,
- kumulacja glinu i manganu ruchomego oraz innych metali ciężkich w glebie,
- pogorszenie jakości wód powierzchniowych.

Z tego względu w 2006 roku, m. in. z inicjatywy IUNG-PIB, podjęto działania mające na celu wdrożenie regeneracyjnego programu wapnowania gleb w Polsce, które niestety do chwili obecnej nie zostały sfinalizowane (7). Programem tym miały być objęte wszystkie gleby użytkowane rolniczo, a przede wszystkim wykazujące odczyn bardzo kwaśny i kwaśny. Podjęcie w Polsce działań wspomagających rolników w kierunku zmniejszenia nadmiernego zakwaszenia gleb, czyli m. in. tam, gdzie wapnowanie jest konieczne i potrzebne, pozwoli ograniczyć straty składników nawozowych (NPK) zużywanych w produkcji roślinnej o ok. 10%, tj. średnio dla Polski o 20 kg NPK·ha⁻¹ UR w dk. Zatem podjęte w tym kierunku działania będą miały bezpośredni efekt środowiskowy.

Literatura

1. Boguszeński W.: Wapnowanie gleb. PWRiL, Warszawa 1980, 176 ss.
2. Chmurzyńska K.: Efekty WPR w odniesieniu do obszarów wiejskich, [w:] Wigier M. (red.) Analiza efektów realizacji polityki rolnej wobec rolnictwa i obszarów wiejskich. IERiGŻ-PIB (PW 2011-2014), Warszawa. 2011, **26**: 37-55.
3. Filipek T.: Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb. Nawozy i Nawożenie, 2001, **8**: 5-26.
4. Filipek T.: Dynamika antropogenicznych przyczyn zakwaszenia gleb w Polsce w ostatnich latach. Nawozy i Nawożenie, 2005, **23**: 67-83.
5. Filipek T., Fotyma M., Lipiński W.: Stan, przyczyny i skutki zakwaszenia gleb ornych w Polsce. Nawozy i Nawożenie, 2006, **27**: 7-38.
6. Filipek T., Skowrońska M.: Aktualnie dominujące przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo w Polsce”. Acta Agroph., 2013, **20(2)**: 283-294.
7. Fotyma M., Igras J.: Narodowy program wapnowania gleb w polsce na lata 2007–2013 Studia i Raporty IUNG-PIB, 2006, **1**: 45-48.
8. Fotyma M., Igras J., Kopiński J., Podyma W.: Ocena zagrożeń nadmiarem azotu pochodzenia rolniczego w Polsce na tle innych krajów europejskich. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2010, **20**: 53-75.
9. Fotyma M., Zięba S.: Przyrodnicze i gospodarcze podstawy wapnowania gleb. Wyd. PWRiL, Warszawa, 1988, ss. 250.
10. Forecast of food, farming and fertilizer use 2015-2025: Fertilizers Europe, 2015, **1**, ss. 114.
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., (red.): Potas w produkcji roślinnej. Poznań: AR w Poznaniu, IPI, 2004.
13. Grzebisz W., Diatta J. B., Szczepaniak W.: Produkcyjne i ekologiczne uwarunkowania wapnowania gleb gruntów ornych. Nawozy i Nawożenie, 2006, **27**: 69-85.
14. Grzebisz W., Diatta J. B., Szczepaniak W.: Produkcyjne i ekologiczne uwarunkowania wapnowania gleb gruntów ornych. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, **34(8)**: 19-26.
15. Grzebisz W., Szczepaniak W., Diatta J. B.: ABC wapnowania gleb uprawnych. Wyd. AR Poznań, 2005, ss. 36.
16. GUS, ZWS, Ochrona środowiska. Warszawa, 2012-2016.
17. GUS.. Produkcja upraw rolnych i ogrodnich. Warszawa, 2003-2016.
18. GUS: Rocznik Statystyczny RP. Warszawa, 2006-2016b. ISSN 1506-0632 ss. 900.

19. GUS. Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2002/2003...2015/2016. Warszawa, 2003-2016.
20. GUS. Użytkowanie gruntów, powierzchnia zasiewów i pogłowie zwierząt gospodarskich. Warszawa, 2001-2016.
21. Harasim A.: Przewodnik ekonomiczno-rolniczy w zarysie. IUNG-PIB Puławy, 2006, ss. 171.
22. Igras J., Kopiński J., Matyka M., Ochal P.: Zużycie nawozów mineralnych w Polsce w układzie regionalnym. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2010, **25**: 9-19.
23. Jadczyższyn T.: Ocena zrównoważenia gospodarki nawozowej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2012, **29**: 135-142
24. Jadczyższyn T., Maćkowiak Cz., Kopiński J.: Model SFOM narzędziem symulowania ilości i jakości nawozów organicznych. Pam. Puł., Puławy, 2000, **120/I**: 169-177.
25. Jadczyższyn T., Ochal P.: Zakwaszenie gleb i potrzeby wapnowania. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, **34(8)**: 9-18.
26. Kulawik J., Kagan A., Wieliczko B.: Czy równe dopłaty bezpośrednie w UE byłyby sprawiedliwe? 2012, http://www.ierigz.waw.pl/download/5511-Kulawik_Kagan_Wieliczko.pdf (Data dostępu 11.01.2013).
27. Kopiński J.: Bilans azotu brutto, jako agrośrodowiskowy wskaźnik zmian oddziaływania produkcji rolniczej na środowisko. Metodologia, wyniki bilansu na poziomie NUTS-0, NUTS-2. Monografie i rozprawy naukowe IUNG-PIB, 2017 (w opracowaniu do druku).
28. Kopiński J.: Ocena zmian efektywności wykorzystania azotu w produkcji rolniczej Polski. Roczn. Nauk. SERiA, 2017, **19(1)**: 88-94.
29. Kopiński J.: Stopień polaryzacji intensywności i efektywności produkcji rolniczej w Polsce w ostatnich 10 latach. Roczn. Nauk. SERiA. 2013, **15(1)**: 97-103.
30. Kopiński J.: Tendencje zmian intensywności produkcji rolniczej w Polsce w aspekcie oddziaływań środowiskowych. Zesz. Nauk. SGGW, ser. Probl. Rol. Świat, Warszawa, **11(4)**: 95-104.
31. Kopiński J., Nieróbcza A., Ochal 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.
32. Klepaczki B.: Wybrane pojęcia z zakresu organizacji gospodarstw, produkcji i pracy w rolnictwie. SGGW, Warszawa, 1997, ss. 148.
33. Krasowicz S.: Regionalne zróżnicowanie zmian w rolnictwie polskim. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2009, **15**: 9-36.
34. Krasowicz S., Górski T., Budzyńska K., Kopiński J.: Charakterystyka rolnicza obszaru Polski. W: Udział polskiego rolnictwa w emisji związków azotu i fosforu do Bałtyku. Wyd. IUNG-PIB, MIR. 2009: 37-104.
35. Lipiński W.: Odczyn gleb Polski. Nawozy i Nawożenie, 2005, **23**: 33-40.
36. Materiały konferencyjne.: Wapnowanie gleb – wyzwanie dla Polskiej gospodarki. Puławy, 26 września 2012.
37. Maćkowiak Cz., Żurek J., Kopiński J.: Polskie standardy nawozów organicznych – opracowanie modelowe. Synteza. Polish Standard Figures for Animal Manure. Agreement between the IUNG Puławy and the Danish Agricultural Advisory Centre, Skejby. Puławy, 1996.
38. Ochal P.: Wykorzystanie syntetycznego wskaźnika do oceny stanu agrochemicznego gleb w Polsce. Praca doktorska (maszynopis) IUNG-PIB, Puławy, 2011.
39. Ochal P.: Regeneracyjne wapnowanie gleb w Polsce. Instrukcja upowszechnieniowa nr 198, IUNG-PIB, Puławy, 2012.
40. Ochal P.: Wapnowanie podstawowym elementem dobrych praktyk rolniczych. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2014, **37(1)**: 9-18.

Adres do korespondencji:

dr Piotr Ochal
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 478 68 42
e-mail: pochal@iung.pulawy.pl

