

Jerzy Kopiński, Piotr Ochal

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

ANALIZA ZMIAN ODCZYNU GLEB POLSKI DO ROKU 2030
W KONTEKŚCIE MOŻLIWOŚCI OGRANICZENIA POTENCJALNYCH
STRAT MAKROSKŁADNIKÓW NAWOZOWYCH*

Słowa kluczowe: gospodarka nawozowa, odczyn gleb, wapnowanie, zróżnicowanie regionalne, straty składników nawozowych

Wstęp

Polska jest krajem charakteryzującym się dużym udziałem gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych. Wynika to przede wszystkim z charakteru procesów glebotwórczych, które ukształtowały pokrywę glebową na terenie kraju. Ponad 90% obszaru Polski zajmują gleby polodowcowe lekkie i bardzo lekkie, wytworzone z kwaśnych skał osadowych, okrucowych luźnych. Gleby wytworzone ze skał osadowych wodnolodowcowych, zwłaszcza charakteryzujących się luźnym składem granulometrycznym, są w większości przypadków naturalnie zakwaszone, gdyż tworzywem są minerały o niskiej zawartości kationów zasadowych. W związku z tym większość polskich gleb z natury jest silnie lub umiarkowanie zakwaszona, o małej zdolności zatrzymywania wody i składników pokarmowych oraz niskiej zawartości substancji organicznej (7, 8, 11). Nakładają się na to także procesy zakwaszania pochodzenia antropogenicznego, a jednym z ważniejszych jest działalność przemysłu i związana z tym emisja związków SO_2 , NO_x i NH_3 (6). Od wielu lat znaczący udział gleb użytków rolnych charakteryzuje się bardzo kwaśnym i kwaśnym odczynem, a zużycie nawozów wapniowych jest ciągle zbyt małe w stosunku do potrzeb (23). W związku z powyższym, praktyką, która wpływa na poprawę efektywności gospodarowania składnikami biogenicznymi (15), ich lepsze wykorzystanie, powinno być dostarczanie związków zasadowych wapnia i magnezu poprzez zabieg wapnowania. Sprzyjać temu ma funkcjonujący

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 pt. „Nawożenie użytków rolnych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2022 r.

w latach 2019–2023 *Ogólnopolski program regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie*, który swoim zasięgiem może objąć ok. 250 tys. ha (20).

Wapnowanie jest ważnym zabiegiem środowiskowym o wielostronnym wpływie na właściwości fizyczne, fizykochemiczne i biologiczne gleby. Sprzyja zwiększeniu aktywności mikrobiologicznej środowiska glebowego, aktywizacji procesów mineralizacji, zwiększeniu dostępności i efektywności niektórych składników mineralnych. Poprzez wpływ na zmniejszenie rozpuszczalności soli metali ciężkich wapnowanie jest również czynnikiem zmniejszającym ich przemieszczanie w łańcuchu troficznym (2, 4, 5).

W miarę wzrostu zakwaszenia gleb pobieranie składników pokarmowych przez rośliny ulega silnemu zakłóceniu, co skutkuje zmniejszeniem plonów, a niewykorzystane składniki nawozowe stanowią zagrożenie dla środowiska glebowego i wodnego. Skutki zakwaszenia gleb uprawnych prowadzą do zaburzenia funkcjonowania nie tylko pól uprawnych, lecz także ekosystemów do nich przyległych, wodnych, czy też atmosfery. Pierwotnym skutkiem środowiskowym zakwaszenia gleb jest redukcja (zmniejszenie wielkości) systemu korzeniowego, która ma charakter przestrzenny i prowadzi do dysfunkcji rośliny w całym profilu glebowym. W konsekwencji powoduje to zwiększone wymywanie azotanów, chlorków, siarczanów oraz brak możliwości pobierania kationów, głównie wapnia i magnezu, w ilościach niezbędnych do prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin (13). Dlatego też, poprzez ograniczenie zakwaszenia gleb, tj. regulację ich odczynu, a także poprzez poprawę (niekorzystnych obecnie) relacji pomiędzy N:P:K w stosowanych w Polsce nawozach mineralnych na niekorzyść fosforu i potasu, możliwy jest w perspektywie średnio- i długoterminowej wzrost produktywności (plonowania) roślin, zmniejszenie nawozochłonności, zwiększenie efektywności wykorzystania składników nawozowych, a tym samym ograniczenie ich strat do środowiska.

Przewidywane do 2030 roku zmiany w kierunku poprawy stanu agrochemicznego gleb w Polsce mieszczą się w celach wprowadzenia strategii ramowej Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ) (w tym strategii „od pola do stołu” i Unijnej strategii na rzecz bioróżnorodności 2030), tj. na poziomie unijnym w kierunku ograniczenia zużycia nawozów o 20% i strat biogenów o 50% bez pogorszenia zasobności gleb oraz wzrostu powierzchni upraw ekologicznych do 20% powierzchni UR (1). Należy jednak zauważyć, że w Polsce w porównaniu z innymi krajami, zwłaszcza „starej” UE-15, mimo niższego poziomu intensywności rolnictwa (31) nawozochłonność może być relatywnie wyższa lub na podobnym poziomie przy niższej wydajności produkcji roślinnej. Powodowane jest to w znacznym stopniu gorszymi warunkami klimatycznymi i glebowymi (21, 22). W Polsce ogółem ponad 40% powierzchni gleb wykazuje niską jakość i słabą przydatność rolniczą (10). Mimo takich uwarunkowań przyrodniczych do prowadzenia produkcji rolniczej dążenie do zmniejszenia nawozochłonności prowadzi do ograniczenia presji na środowisko glebowe i wodne ze strony biogenów (18). Ponadto na ogół efektywność zabiegu wapnowania najczęściej oceniano przez

pryzmat przyrostu plonów roślin (wzrost efektu) w następstwie przeprowadzonego zabiegu (poniesionych nakładów), a rzadko jako możliwość ograniczenia strat składników mineralnych poprzez poprawę ich wykorzystania, co jest szczególnie istotne w obecnych uwarunkowaniach ekonomicznych (relacje cenowe nawozy–produkty rolne) (30). Z drugiej strony, jak wynika z prac Igrasa (12), produkcja rolnicza nie wywiera aż tak silnie negatywnego wpływu na jakość wód, a głównym zagrożeniem dla żyzności gleb jest zakwaszenie i niedobór wielu składników pokarmowych. Trzeba także zaznaczyć, że w warunkach produkcyjnych stopień wykorzystania azotu z nawozów przez rośliny waha się w szerokich granicach od 33 do 65% (24), a tzw. bilans „0” azotu brutto jest możliwy tylko w ekosystemach zamkniętych, naturalnych, z których nie zbiera się żadnej masy roślinnej (10).

Powyższe stwierdzenia i przesłanki były wyznacznikami podjęcia analiz nad oceną możliwości poprawy odczynu pH gleb w Polsce i ograniczenia ich zakwaszenia do roku 2030, w kontekście zwiększenia efektywności wykorzystania składników nawozowych i ograniczenia ich strat w środowisku przyrodniczym.

Material i założenia metodyczne

Ocenę wpływu wapnowania na produktywność i jakość środowiska, wraz z perspektywą zmian i prognozy do 2030 r., przeprowadzono na podstawie danych GUS dotyczących: zbiorów upraw poszczególnych roślin (25, 28), zużycia nawozów mineralnych (NPK) i wapniowych (27), pogłowia zwierząt inwentarskich (28, 32), oceny stanu zakwaszenia i zasobności gleb w fosfor i potas (26, 27). Do obliczenia produktywności roślinnej zastosowano współczynniki przeliczeniowe plonów roślin na jednostki zbożowe, przyjmując, że 1 j.zb. odpowiada 100 kg ziarna zbóż, w odniesieniu tylko do plonów głównych (zbiorów) roślin uprawianych na gruntach ornych (GO), upraw trwałych, łąk i pastwisk (TUZ). Wyrażone w jednostkach zbożowych sumaryczne zbiory w uproszczeniu przyjęto jako całkowitą produkcję roślinną, a następnie przeliczono na 1 ha UR. Ilość zużycia składników NPK w nawozach mineralnych przyjęto na podstawie danych GUS, a w nawozach naturalnych (netto) określono na podstawie stanu pogłowia zwierząt gospodarskich, z wykorzystaniem współczynników przyjętych w metodyce bilansu składników nawozowych (13, 29).

Analiza obejmowała zasadniczo okres lat 2016–2019, ale także lata od 2002 roku i prognozę na rok 2030. W opracowaniu określono tempo (%) wzrostu plonu (produkcyjności) na podstawie analizy trendów zmian stanu agrochemicznego gleb, tj. odczynu pH oraz zasobności w fosfor i potas. W tym celu wykorzystano tzw. współczynniki utraty plonu w zależności od zakresu odczynu pH gleb (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 kwaśne	5,6–6,5	5
Obojętne	6,6–7,2	1
Zasadowe	>7,2	2

Źródło: obliczenia własne na podstawie Grzebisz i Diatta, 2005 (3)

Plon możliwy (w roku 2030) w warunkach przewidywanego odczynu gleb i plon potencjalnie utracony z powodu niekorzystnego odczynu obliczono według równań:

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

gdzie:

y – plon możliwy (przewidywany w roku 2030) w warunkach poprawy odczynu pH gleb;

x – plon rzeczywisty (aktualny, średnio w latach 2016–2019);

a – współczynnik utraty plonu wyrażony w %;

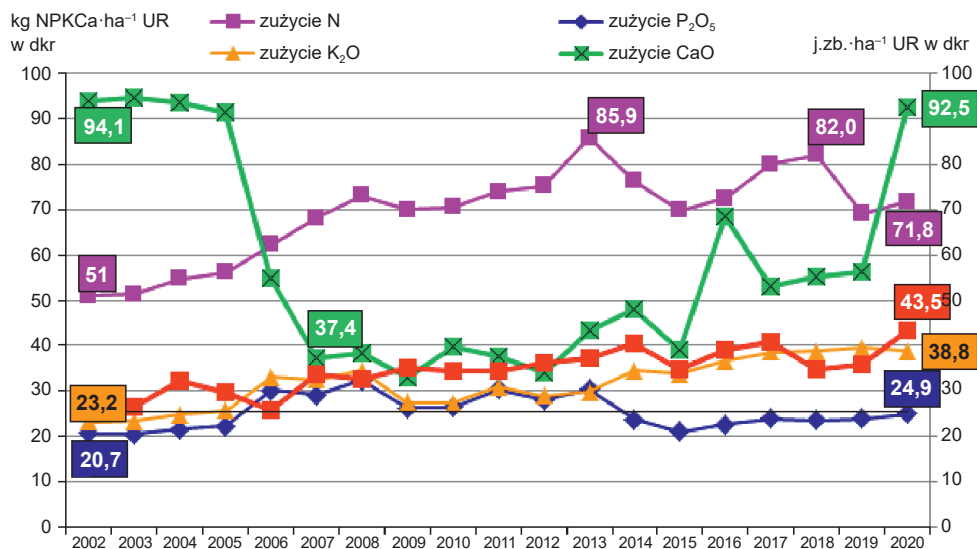
z – różnica w plonowaniu (produkcyjności) w wyniku poprawy stanu agrochemicznego gleb (ich odczynu pH).

Wskaźniki dla poszczególnych województw porównywano ze średnimi dla Polski, jako układu odniesienia, na podstawie średnich z 3 lat, aby wyeliminować zmienność w latach. Materiał zaprezentowano w formie tabelarycznej.

Omówienie wyników

Tendencje zmian zużycia składników nawozowych i stanu agrochemicznego gleb

W Polsce wzrosła intensywność produkcji roślinnej w XXI w., a więc także w okresie funkcjonowania we WE i UE, nie towarzyszyło – na ogół – podobne tempo wzrostu plonowania roślin (rys. 1). Generalnie wzrost intensywności w Polsce powodowany jest zwiększonym zużyciem azotu w nawozach mineralnych. Jak wynika z pracy Kopińskiego (16), uwzględniając tempo tych zmian od 2004 roku, można wyróżnić trzy okresy. Pierwszy trwał do 2008 r., kiedy ten wzrostowy trend został lekko zahamowany w konsekwencji światowego kryzysu finansowego. Kolejne okresy to lata 2009–2013 i 2014–2018, w których po zmniejszeniu ilości zużywanych nawozów azotowych następował powrót do wysokiego poziomu. W ostatnich latach jednostkowe zużycie azotu mieściło się na ogół w przedziale 70–80 kg·ha⁻¹ UR w dkr. Wzrost poziomu intensywności nawożenia azotem w produkcji roślinnej wynikał w pewnym sensie ze zmniejszania się powierzchni gruntów ornych (19).



Rys. 1. Zmiany intensywności produkcji wg poziomu nawożenia mineralnego NPKCa i produktywności roślin uprawnych w Polsce w latach 2002–2019

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (27)

Innym wyraźnym obserwowanym zjawiskiem w gospodarce nawozowej Polski, w latach funkcjonowania w UE, jest zwiększone zużycie azotu w stosunku do pozostałych makroskładników nawozowych, tj. P₂O₅ i K₂O (tab. 2). Pogarszające się i tak już niekorzystne relacje pomiędzy głównymi makroskładnikami, a także znaczny udział gleb silnie i bardzo silnie zakwaszonych (23) dość mocno, m.in. z uwagi na działanie tzw. reguły beczki Liebiga, limitują produktywność roślin, efektywność techniczną i ekonomiczną wykorzystania azotu. Pomiedzy zużyciem nawozów azotowych i plonami roślin występuje dosyć ścisła korelacja (9) potwierdzająca plonotwórczy charakter tego składnika. Analiza regresji obejmującej lata 2002–2019 na poziomie województw Polski wskazała, że w okresie tym każdy wzrost nawożenia azotowego o 1 kg powodował przyrost produktywności roślinnej o 0,31 j.zb.·ha⁻¹ ($r = 0,62$) (17). Dlatego w celu poprawy wykorzystania składników nawozowych, w warunkach utrzymywania się lub wzrostu produktywności, przy kurczącym się i ograniczonym potencjale produkcyjnym ziemi (14), niezbędna jest poprawa odczynu pH polskich gleb, gdyż zakwaszenie może być istotnym czynnikiem limitującym to wykorzystanie. Mniejszą efektywność działania składników w nawozach mineralnych i naturalnych (w procesie produkcji roślinnej), która przeciętnie w Polsce wynosi ok. 82% (tab. 2), tylko częściowo można tłumaczyć gorszymi warunkami glebowo-klimatycznymi. Należy zaznaczyć, że mimo ograniczenia stosowania wapnowania, szczególnie w latach 2006–2015, udział gleb o niskim i bardzo niskim odczynie pH,

niskiej oraz bardzo niskiej zasobności w fosfor i potas zmniejsza się i w 2030 r. takie gleby mogą stanowić już tylko odpowiednio: 25%, 23% i 35% (tab. 2).

Tabela 2

Zmiany wybranych wskaźników stanu agrochemicznego gleb w Polsce i prognoza do 2030 r.

Wyszczególnienie	Lata				Prognoza 2030	Prognoza zmian*
	2002–2005	2006–2011	2012–2015	2016–2020		
Efektywność wykorzystania składników NPK z nawozów mineralnych i naturalnych (%)	82,4	78,8	85,1	81,8	83,4	1,0
Udział gleb o:						
niskim i bardzo niskim odczynie pH	51	46	39	42	25	-26
niskiej i bardzo niskiej zasobności w fosfor P ₂ O ₅ (%)	34	33	31	29	23	-11
niskiej i bardzo niskiej zasobności w potas K ₂ O (%)	45	43	39	39	35	-10
Relacja w nawozach mineralnych						
N	1	1	1	1	-	-
P ₂ O ₅	0,36	0,38	0,32	0,32	0,33	-0,03
K ₂ O	0,45	0,44	0,41	0,51	0,54	0,09

*zmiana w odniesieniu do lat 2012–2015

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (26, 27)

W tabelach 3a, 3b i 3c przedstawiono strukturę odczynu gleb (pH) w województwach Polski w początkowym i ostatnim okresie lat 2002–2020. Z zamieszczonych danych wynika, że udział gleb o niskim i bardzo niskim odczynie wynosił w Polsce od 51% w latach 2002–2005 do 40–43% w latach 2016–2020. Oczywiście sytuacja ta jest dość mocno zróżnicowana regionalnie. W województwach: łódzkim, małopolskim, mazowieckim, podkarpackim i podlaskim udział takich gleb w ostatnich latach przekracza 57%. Na podstawie przeprowadzonej analizy trendów w okresie 2002–2019 oraz przewidywanych interwencji w ramach obecnego PROW i przyszłego Planu Strategicznego (PS) WPR na lata 2023–2027 obliczono przewidywany stan agrochemiczny gleb (w zakresie odczynu gleb) w roku 2030, który przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 3a

Struktura odczynu gleb (pH) w Polsce w latach 2002–2005

Województwo	Liczba przebadanych próbek (szt.)	Przebadana powierzchnia (tys. ha)	Odczyn gleb (%)				
			bardzo kwaśny pH < 4,5	kwaśny pH 4,6–5,5	lekko kwaśny pH 5,6–6,5	obojętny pH 6,6–7,2	zasadowy pH > 7,2
Dolnośląskie	124476	342,3	18	31	32	12	7
Kujawsko-pomorskie	135446	341,4	11	21	28	24	16
Lubelskie	87562	115,9	24	27	22	14	13
Lubuskie	51204	100,7	14	32	35	13	6
Łódzkie	104711	143,7	33	35	21	8	3
Małopolskie	62672	53,0	33	28	21	15	3
Mazowieckie	128434	236,3	31	31	22	12	4
Opolskie	84301	205,0	8	26	49	15	2
Podkarpackie	72367	92,0	37	30	20	11	2
Podlaskie	58286	125,7	32	36	21	10	1
Pomorskie	94613	243,4	18	36	30	15	1
Śląskie	65422	113,6	22	31	33	11	3
Świętokrzyskie	41984	54,0	20	22	22	17	19
Warmińsko-mazurskie	113277	291,9	21	38	24	14	3
Wielkopolskie	247711	650,6	14	28	33	16	9
Zachodniopomorskie	104477	316,3	18	32	26	15	9
POLSKA	1576943	3426,0	21	30	28	14	7

Źródło: dane GUS (26) na podstawie danych Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej (KSCh-R)

Tabela 3b

Struktura odczynu gleb (pH) w Polsce w latach 2016–2019

Województwo	Liczba przebadanych próbek (szt.)	Przebadana powierzchnia (tys. ha)	Odczyn gleb (%)				zasadowy pH > 7,2
			bardzo kwaśny pH < 4,5	kwaśny pH 4,6–5,5	lekko kwaśny pH 5,6–6,5	obojętny pH 6,6–7,2	
Dolnośląskie	120940	349,4	8	21	43	21	7
Kujawsko-pomorskie	142359	360,5	8	18	31	25	18
Lubelskie	135847	120,2	18	27	26	16	13
Lubuskie	50216	136	10	28	39	16	7
Łódzkie	104415	158,7	25	33	28	10	4
Małopolskie	38617	38,3	26	30	21	13	10
Mazowieckie	140249	241,4	24	32	27	13	4
Opolskie	95303	238,8	4	16	48	28	4
Podkarpackie	68799	94,5	28	33	23	11	5
Podlaskie	66335	140,8	27	36	23	11	3
Pomorskie	118908	325,2	10	30	36	17	7
Śląskie	40338	87,4	16	25	37	17	5
Świętokrzyskie	33377	44,5	18	22	21	20	19
Warmińsko-mazurskie	149658	387,8	10	27	35	22	6
Wielkopolskie	230420	593,7	13	25	33	18	11
Zachodniopomorskie	142267	434,8	9	27	36	17	11
POLSKA	1678048	3751,8	14	26	33	18	9

Źródło: dane GUS (26) na podstawie danych Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej (KSCCh-R)

Tabela 3c

Struktura odczynu gleb (pH) w Polsce w latach 2017–2020

Województwo	Liczba przebadanych próbek (szt.)	Przebadana powierzchnia (tys. ha)	Odczyn gleb (%)				zasadowy pH > 7,2
			bardzo kwaśny pH < 4,5	kwaśny pH 4,6–5,5	lekko kwaśny pH 5,6–6,5	obojętny pH 6,6–7,2	
Dolnośląskie	123122	354,2	8	20	42	22	8
Kujawsko-pomorskie	145908	369,8	9	18	31	24	18
Lubelskie	151560	165,2	20	27	25	15	13
Lubuskie	55991	151,1	12	27	38	17	6
Łódzkie	110917	167,8	26	34	27	10	3
Małopolskie	42740	40,9	27	30	21	13	9
Mazowieckie	154650	260,8	26	32	25	13	4
Opolskie	93856	240,6	4	16	47	29	4
Podkarpackie	71608	94,6	30	33	22	11	4
Podlaskie	75678	158	27	35	23	11	4
Pomorskie	125552	342,9	10	29	37	17	7
Śląskie	40332	81,5	17	25	36	17	5
Świętokrzyskie	34852	46,3	18	22	21	20	19
Warmińsko-mazurskie	157481	400,8	10	26	36	22	6
Wielkopolskie	234091	597,5	14	26	31	18	11
Zachodniopomorskie	146061	434,4	10	28	36	16	10
POLSKA	1764399	3906,4	16	27	32	17	8

Źródło: dane GUS (26) na podstawie danych Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej (KSCh-R)

Tabela 4

Prognoza struktury odczynu gleb (pH) w Polsce w roku 2030

Województwo	Liczba przebadanych próbek (szt.)	Przebadana powierzchnia (tys. ha)	Odczyn gleb (%)				zasadowy pH > 7,2
			bardzo kwaśny pH < 4,5	kwaśny pH 4,6–5,5	lekko kwaśny pH 5,6–6,5	obojętny pH 6,6–7,2	
Dolnośląskie	-	-	0	9	55	29	7
Kujawsko-pomorskie	-	-	5	15	35	27	18
Lubelskie	-	-	9	26	33	17	14
Lubuskie	-	-	4	20	48	20	8
Łódzkie	-	-	13	30	39	12	6
Małopolskie	-	-	19	31	24	11	15
Mazowieckie	-	-	14	32	35	14	4
Opolskie	-	-	0	5	49	40	5
Podkarpackie	-	-	16	36	28	11	8
Podlaskie	-	-	19	37	28	11	5
Pomorskie	-	-	1	22	45	21	12
Śląskie	-	-	9	18	44	23	6
Świętokrzyskie	-	-	16	22	22	23	18
Warmińsko-mazurskie	-	-	0	14	48	30	9
Wielkopolskie	-	-	9	20	37	21	13
Zachodniopomorskie	-	-	0	20	49	19	12
POLSKA	-	-	5	20	41	22	10

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (26)

Różnice poziomu intensywności produkcji, mierzonej zużyciem makroskładników nawozowych NPKCa, pomiędzy województwami są często ponad dwukrotne (tab. 5). Z jednej strony funkcjonuje niskonakładowe rolnictwo tradycyjne, a z drugiej – rolnictwo wysokointensywne, odpowiadające na wyzwania polityczno-ekonomiczno-rynkowe. Zasadniczo zmiany poziomu intensywności i koncentracji produkcji w Polsce zachodzą wzdłuż linii północny-zachód–południowy-wschód.

Generalnie pozytywnie należy ocenić wzrost poziomu zużycia CaO w nawozach wapniowych w ostatnich latach we wszystkich województwach. Największy wzrost zużycia wapna nawozowego, rzędu 100–170%, miał miejsce w województwach: małopolskim, mazowieckim, podkarpackim i podlaskim, co jest tym bardziej cenne, gdyż w tych to województwach znaczący odsetek (ponad 50%) stanowią gleby o kwaśnym i bardzo kwaśnym odczynie pH (tab. 3b, 3c). Przeciętne zużycie CaO w Polsce uległo zwiększeniu w porównywanych okresach o 47% (tab. 5). Nieznacznie zwiększyło się także średnie zużycie pozostałych składników NPK zarówno w nawozach mineralnych, jak i naturalnych (tab. 5). W poszczególnych województwach można zaobserwować różne kierunki i tendencje tych zmian, wynikające ze zmian strukturalnych produkcji rolniczej. Z analiz Wrzaszcz i Kopińskiego (29) wynika, że w roku 2016 tylko 10,4% gospodarstw indywidualnych stosowało nawozy wapniowe. Z przeprowadzonych szacunków oraz danych KSCh-R (26) dotyczących badania odczynu gleb wynika, że w ostatnich latach (2016–2019) były one stosowane na powierzchni ok. 3 mln ha UR.

W latach 2018–2020 średni poziom stosowanych dawek wapna nawozowego wynosił $66,6 \text{ kg CaO} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$, a średnioroczne tempo wzrostu nawożenia (nachylenie trendu) w okresie 2007–2020 wynosiło $2,69 \text{ kg CaO} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$, wobec $4,12 \text{ kg CaO} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$ pomiędzy ostatnimi okresami analiz, tj. w latach 2012–2015 w odniesieniu do lat 2018–2020. Z prognoz średnioterminowych do roku 2030, sporządzonych na podstawie nachylenia tych dwóch trendów zmian z lekką korektą o 10% w stosunku do trendu z ostatnich lat, wynika, że **w Polsce przeciętne dawki stosowanego wapna w 2030 roku mogą być na poziomie ostatniego roku, tj. 2020 i wynosić ok. $93,5 \text{ kg CaO} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$ (wzrost o $48 \text{ kg CaO} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$ w odniesieniu do lat 2012–2014, tj. o 105,5%), które może być zastosowane na powierzchni ok. 4,75–5,0 mln ha UR.**

Tabela 5

Zużycie nawozów mineralnych NPKCa i naturalnych w województwach Polski

Województwo	Zużycie nawozów wapniowych (kg CaO·ha ⁻¹ UR w dkr)		zmiana* (%)	Nawożenie mineralne (kg NPK·ha ⁻¹ UR w dkr)			zmiana* (%)	Nawożenie mineralne i naturalne razem (kg NPK·ha ⁻¹ UR w dkr)			zmiana* (%)
	2012–2014	2018–2020		2012–2014	2012–2014	2018–2020		2012–2014	2012–2014	2017–2019	
Dolnośląskie	79,5	101,3	27,4	165,1	164,8	-0,2	193,4	197,8	193,4	197,8	2,2
Kujawsko-pomorskie	59,4	82,6	39,1	171,2	179,5	4,8	257,7	275,3	257,7	275,3	6,8
Lubelskie	40,9	77,0	88,2	134,8	153,2	13,6	185,0	209,2	185,0	209,2	13,1
Lubuskie	38,6	43,9	13,8	132,9	100,5	-24,4	178,9	160,9	178,9	160,9	-10,1
Łódzkie	38,9	59,3	52,4	144,3	135,0	-6,4	236,1	234,1	236,1	234,1	-0,9
Małopolskie	16,2	38,2	135,3	76,3	87,5	14,7	146,5	150,7	146,5	150,7	2,9
Mazowieckie	29,2	76,5	161,8	110,4	121,3	9,9	208,5	226,8	208,5	226,8	8,8
Opolskie	99,4	122,2	23,0	205,6	194,9	-5,2	257,8	247,4	257,8	247,4	-4,0
Podkarpackie	17,8	42,4	138,8	76,2	86,6	13,6	120,9	122,3	120,9	122,3	1,1
Podlaskie	14,8	33,1	124,4	105,6	118,7	12,4	232,5	246,7	232,5	246,7	6,1
Pomorskie	60,8	66,7	9,6	148,0	148,4	0,3	210,4	209,5	210,4	209,5	-0,4
Śląskie	51,8	55,4	7,0	129,3	127,4	-1,5	212,1	202,5	212,1	202,5	-4,5
Świętokrzyskie	18,1	34,4	90,2	111,2	106,4	-4,3	173,3	169,0	173,3	169,0	-2,5
Warmińsko-mazurskie	46,3	58,8	26,9	108,5	109,6	1,0	193,3	207,1	193,3	207,1	7,1
Wielkopolskie	55,4	62,4	12,5	159,1	157,5	-1,0	285,5	306,6	285,5	306,6	7,4
Zachodniopomorskie	68,5	72,5	5,8	161,1	123,9	-23,1	190,1	158,8	190,1	158,8	-16,5
Polska	45,5	66,6	46,6	134,9	136,2	1,0	213,9	223,1	213,9	223,1	4,3

*zmiana w odniesieniu do lat 2012–2014

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (27)

O nawozochłonności produkcji roślinnej decyduje zużycie składników pokarmowych w nawozach mineralnych i naturalnych oraz produktywność wyrażona w jednostkach zbożowych w przeliczeniu na 1 ha użytków rolnych. Oba te wskaźniki zostały zastosowane do obliczeń nawozochłonności, z uwzględnieniem jej zróżnicowania w ujęciu dynamicznym (lata, okresy) i regionalnym. Nawozochłonność produkcji roślinnej w Polsce w latach 2002–2019, w kolejnych sześciu 3-letnich okresach, przedstawiono w tabeli 6. Nawozochłonność produkcji roślinnej z nawozów mineralnych zwiększyła się z 3,3 kg NPK·j.zb.⁻¹ w latach 2002–2004 do 3,7 i do 3,8 kg NPK·j.zb.⁻¹, odpowiednio w latach 2012–2014 i 2017–2019. W analizowanym okresie odwrotna tendencja wystąpiła w przypadku zmian zużycia nawozów naturalnych. Uległa ona zmniejszeniu o 0,5 kg NPK·j.zb.⁻¹ pomiędzy okresem lat 2002–2004, a 2017–2019 i wyniosła 2,3 kg NPK·j.zb.⁻¹. Było to związane ze zmniejszeniem obsady zwierząt gospodarskich. Globalna produkcja roślinna wyrażona w jednostkach zbożowych w przeliczeniu na 1 ha użytków rolnych w dobrej kulturze rolnej, obok zróżnicowania w latach i wyodrębnionych okresach 3-letnich, wykazywała tendencję wzrostową. W rezultacie całkowita nawozochłonność produkcji roślinnej w całym okresie 2002–2019 była relatywnie mało zróżnicowana i przeciętnie wyniosła 6,1 kg NPK·j.zb.⁻¹. W okresach 2011–2013 i 2017–2019 wynosiła 6,0 kg NPK j.zb.⁻¹. W Polsce od wielu lat raczej na stałym poziomie, tj. ok. 5,0 kg NPK·j.zb.⁻¹, utrzymuje się pobranie składników nawozowych na jednostkę plonu, dlatego ważne jest, żeby także wskaźnik nawozochłonności nie odbiegał zbyt mocno od tego poziomu. W Polsce w analizowanym okresie osiemnastu lat przeciętna nawozochłonność całkowita dla azotu wynosiła 2,9 kg N·j.zb.⁻¹, dla fosforu – 1,2 kg P₂O₅·j.zb.⁻¹, a dla potasu – 1,9 kg K₂O·j.zb.⁻¹ (tab. 6).

Tabela 6

Nawozochłonność produkcji roślinnej i pobranie składników NPK z płonem roślin w Polsce w latach 2002–2019

Wyszczególnienie	Lata										Ogółem 2002–2019
	2002–2004	2005–2007	2008–2010	2011–2013	2014–2016	2017–2019					
Zużycie skład. naw. NPK: ogółem (kg·ha ⁻¹ UR w dkr) zmiany (%)*	176,7 100	202,3 114,4	210,8 119,3	216,4 122,4	211,1 119,5	224,6 127,1					206,3
nawozy mineralne (kg·ha ⁻¹ UR w dkr) zmiany (%)*	95,3 100	117,6 123,3	127,1 133,3	135,7 142,4	131,9 138,4	139,7 146,6					123,8
nawozy naturalne (kg·ha ⁻¹ UR w dkr) zmiany (%)*	81,4 (46,1%) 100	84,7 (41,9%) 104,0	83,7 (39,7%) 102,8	80,7 (37,3%) 99,1	79,2 (37,5%) 97,3	84,9 (37,8%) 104,2					82,4 (39,9%)
Globalna produkcja roślinna (j.zb·ha ⁻¹ UR w dkr) zmiany (%)*	29,0 100	29,8 102,7	34,0 117,5	35,9 124,1	38,3 132,4	37,1 128,1					33,8
Pobranie skład. naw. w produkcji roślinnej (pl. gł.) (j.zb·ha ⁻¹ UR w dkr) zmiany (%)*	5,0 100	5,2 103,7	5,1 100,9	5,0 99,7	4,8 95,4	4,8 95,1					5,0
Nawozochłonność produkcji roślinnej naw. min. (kg NPK·j.zb. ⁻¹) zmiany (%)*	3,3 100	4,0 120,2	3,7 113,6	3,8 114,9	3,5 104,9	3,8 114,4					3,7
Nawozochłonność produkcji roślinnej naw. nat. (kg NPK·j.zb. ⁻¹) zmiany (%)*	2,8 100	2,8 101,4	2,5 87,6	2,2 80,0	2,1 73,8	2,3 81,4					2,4
Nawozochłonność produkcji roślinnej razem (kg NPK·j.zb. ⁻¹) zmiany (%)*	6,1 100	6,8 111,5	6,2 101,6	6,0 98,8	5,5 90,6	6,0 99,2					6,1
W tym: N (kg·j.zb. ⁻¹) zmiana (%)*	2,82 100	3,13 111,1	3,01 106,7	3,02 107,2	2,71 96,1	2,95 104,6					2,94
P ₂ O ₅ (kg·j.zb. ⁻¹) zmiana (%)*	1,26 100	1,44 113,9	1,27 100,7	1,20 94,9	1,01 79,6	1,10 87,3					1,21
K ₂ O (kg·j.zb. ⁻¹) zmiana (%)*	2,01 100	2,23 110,6	1,91 95,0	1,77 88,0	1,78 88,4	1,97 97,7					1,94

*lata 2002–2004 = 100%

Źródło: Kopiński i Krasowicz, 2021 (18)

Tendencje zmian produktywności roślin oraz nawozochłonności i zmian absorpcji składników nawozowych w perspektywie roku 2030 w Polsce

W kontekście racjonalności gospodarki nawozowej decydujące znaczenie ma poziom produkcji roślinnej (produkcyjność) wyznaczający zapotrzebowanie na składniki pokarmowe (tab. 7). W analizowanym okresie (2002–2019) nastąpił wzrost produkcji roślinnej. Jak wynika z przeprowadzonych analiz, na skutek przewidywanej poprawy odczynu pH gleb i zmniejszenia udziału gleb kwaśnych i bardzo kwaśnych **przeciętna produktywność roślin w Polsce, w perspektywie kilkunastu lat, powinna wzrosnąć odpowiednio o 4,0 i 2,6%, czyli o 1,5 i 1,0 j.zb.·ha⁻¹ UR w dkr i osiągnąć w roku 2030 poziom 38,6 j.zb.·ha⁻¹ UR w dkr, wobec 37,1 j.zb.·ha⁻¹ UR w dkr w latach 2012–2014 i 37,6 j.zb.·ha⁻¹ UR w dkr w latach 2016–2019** (tab. 7). Ten zakładany wzrost produktywności roślin, w odniesieniu do okresu 2016–2019, będzie dotyczył wszystkich województw, mimo nadal utrzymującego się dużego zróżnicowania regionalnego. Prognozowany przyrost produktywności może mieścić się w przedziale od 0,2 j.zb.·ha⁻¹ UR w dkr w województwie świętokrzyskim do 1,4 j.zb.·ha⁻¹ UR w dkr w województwach dolnośląskim i opolskim (tab. 7).

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.

Nawozochłonność produkcji roślinnej, liczona w stosunku do całkowitej dawki NPK z nawozów mineralnych i naturalnych, wynosiła w latach 2002–2019 średnio 6,1 kg NPK·j.zb.⁻¹, a w latach 2016–2019 – średnio 5,9 kg NPK·j.zb.⁻¹ (tab. 8). Natomiast według prognozowanych uwarunkowań produkcji rolniczej (roślinnej) w Polsce do roku 2030 całkowita nawozochłonność (z nawozów mineralnych i naturalnych) powinna osiągnąć wielkość 5,7 kg NPK·j.zb.⁻¹. W efekcie – wzrostu produktywności i zmniejszenia się nawozochłonności – powinna nastąpić poprawa wykorzystania składników nawozowych NPK, a tym samym ilości te nie ulegną rozproszeniu, czyli nastąpi ograniczenie strat i zmniejszenie potencjalnej presji środowiskowej. Obecnie wielkość ograniczenia możliwych strat składników nawozowych w wyniku poprawy odczynu gleb (poprzez zwiększoną intensywność wapnowania) można szacować w Polsce przeciętnie na: 5,5 kg NPK ha⁻¹ UR w dkr, w tym 2,6 kg N ha UR⁻¹ w dkr, 1,0 P₂O₅ ha⁻¹ UR w dkr i 1,8 kg K₂O ha⁻¹ UR w dkr w odniesieniu do stanu w latach 2016–2019 (tab. 8). W ujęciu procentowym są to wielkości rzędu 2,5% poszczególnych makroskładników nawozowych.

Tabela 7
Rzeczywista i przewidywana (możliwa) produktywność roślinna w województwach Polski w latach 2002–2019 i prognoza na rok 2030

Województwo	Całkowita rzeczywista produktywność roślinna (UR) j.zb.·ha ⁻¹ UR w dkr (x)					Całkowita przewidywana produktywność roślinna j. zb.·ha ⁻¹ UR w dkr (y = x + z)		
	lata					2030 rok	zmiana*	zmiana**
	2002–2005	2006–2011	2012–2015	2016–2019	2016–2019			
Dolnośląskie	35,8	39,7	45,9	46,6	46,6	48,0	2,2	1,4
Kujawsko-pomorskie	38,2	41,2	46,5	45,5	45,5	46,1	-0,4	0,5
Lubelskie	30,6	31,3	36,7	41,6	41,6	42,5	5,8	0,8
Lubuskie	21,2	25,8	34,0	31,5	31,5	32,3	-1,8	0,7
Łódzkie	27,1	31,6	34,6	34,6	34,6	35,5	0,9	0,9
Małopolskie	25,6	27,0	30,1	31,7	31,7	32,3	2,2	0,4
Mazowieckie	25,2	27,8	30,7	32,6	32,6	33,4	2,7	0,6
Opolskie	45,2	49,8	57,7	57,6	57,6	59,0	1,3	1,4
Podkarpackie	22,9	24,8	27,4	30,1	30,1	31,0	3,6	0,7
Podlaskie	24,3	27,5	28,6	29,4	29,4	29,9	1,4	0,5
Pomorskie	28,7	33,6	39,4	38,4	38,4	39,6	0,2	1,1
Śląskie	27,0	30,6	35,4	36,5	36,5	37,4	2,1	0,8
Świętokrzyskie	25,8	28,2	30,6	32,3	32,3	32,5	1,9	0,2
Warmińsko-mazurskie	24,2	29,9	31,9	31,5	31,5	32,7	0,8	1,2
Wielkopolskie	35,7	38,9	44,3	41,7	41,7	42,3	-2,0	0,6
Zachodniopomorskie	26,3	32,4	40,4	36,5	36,5	37,5	-2,9	1,0
Polska	29,2	32,6	37,1	37,6	37,6	38,6	1,5 4,0%	1,0 2,6%

*w odniesieniu do lat 2012–2015

**w odniesieniu do lat 2016–2019

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (25, 26)

Tabela 8

Nawożoność w latach 2002–2019 i przewidywana absorpcja składników nawozowych (potencjalnego ograniczenia strat) w wyniku zmniejszenia zakwaszenia gleb w województwach Polski w roku 2030

Województwo	Całkowita nawożoność produkcji roślinnej		Możliwe ograniczenie strat składników nawozowych przez absorpcję w wyniku zmniejszenia zakwaszenia gleb w 2030 r.*				
	rzeczywista kg NPK·j. zb. ⁻¹	przewidywana kg NPK·j. zb. ⁻¹	kg NPK·ha ⁻¹ UR w dkr	%	kg N·ha ⁻¹ UR w dkr	kg P ₂ O ₅ ·ha ⁻¹ UR w dkr	kg K ₂ O·ha ⁻¹ UR w dkr
	2002–2019	2016–2019	2030				
Dolnośląskie	4,2	4,2	5,8	3,0	3,1	1,0	1,7
Kujawsko-pomorskie	6,1	6,0	3,0	1,1	1,5	0,5	1,0
Lubelskie	5,2	4,9	3,7	1,8	1,7	0,8	1,2
Lubuskie	6,2	5,2	3,5	2,2	1,8	0,7	1,1
Łódzkie	7,1	6,8	6,3	2,7	2,9	1,2	2,2
Małopolskie	5,6	4,8	2,0	1,3	0,9	0,4	0,7
Mazowieckie	7,0	6,9	4,4	1,9	2,0	0,8	1,6
Opolskie	4,6	4,3	5,7	2,3	3,0	1,0	1,7
Podkarpackie	4,8	4,0	2,5	2,1	1,1	0,5	0,9
Podlaskie	8,1	8,3	3,9	1,6	1,7	0,7	1,5
Pomorskie	5,8	5,4	5,9	2,8	3,1	1,0	1,8
Śląskie	6,1	5,6	4,6	2,2	2,1	0,9	1,5
Świętokrzyskie	5,8	5,2	0,9	0,6	0,4	0,2	0,3
Warmińsko-mazurskie	6,7	6,5	7,1	3,5	3,6	1,2	2,3
Wielkopolskie	7,1	7,4	4,4	1,4	2,0	0,9	1,5
Zachodniopomorskie	4,9	4,4	4,1	2,5	2,2	0,7	1,2
Polska	6,1	5,9	5,5	2,5	2,6	1,0	1,8

*w odniesieniu do lat 2016–2019

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (25, 26, 27, 32)

Podsumowanie

Możliwości ograniczenia niekorzystnych skutków produkcyjnych powodowanych warunkami pogodowymi są dość ograniczone, istnieją natomiast możliwości poprawy odczynu gleb przez zabieg wapnowania. Uregulowanie odczynu gleb prowadzi do poprawy plonowania roślin (wzrostu produktywności) i lepszego wykorzystania składników nawozowych, czyli spadku nawozochłonności. W konsekwencji znacznie zmniejszyłaby się potencjalna presja środowiskowa z tytułu prowadzenia produkcji rolniczej. Siła tego oddziaływania zależy bezpośrednio od poziomu zakwaszenia gleb i możliwości zmniejszenia całkowitej nawozochłonności produkcji roślinnej.

Obecnie największe i najprostsze możliwości ograniczenia stwarzanych przez rolnictwo zagrożeń środowiskowych, w wyniku poprawy wykorzystania składników nawozowych w produkcji roślinnej, istnieją przede wszystkim w zakresie poprawy odczynu gleb, przez zabieg ich wapnowania. Należy także pamiętać, że nieuregulowany odczyn gleb ogranicza wykorzystanie innych tzw. pozanawozowych czynników produkcji (jak: postęp hodowlany, ochrona roślin, rolnictwo precyzyjne itp.), których znaczenie w Polsce ciągle wzrasta. Wyniki przedstawionych analiz mogą wskazywać kierunki działań w ramach prowadzonych polityk rolnych.

Literatura

1. EC (European Commission). Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Strategia „od pola do stołu” na rzecz sprawiedliwego, zdrowego i przyjaznego dla środowiska systemu żywnościowego. 2020, COM(2020) 381 final, 20.5.2020.
2. Goulding K.W.T., Blake L.: Soil acidification and the mobilisation of toxic metals caused by acid deposition and fertiliser application. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 1998, **456**: 19-27.
3. Grzebisz W., Diatta J.B.: ABC wapnowania gleb uprawnych. Wyd. AR Poznań, 2005, ss. 36.
4. Grzebisz W., Diatta J.B., Szczepaniak W.: Produkcyjne i ekologiczne uwarunkowania wapnowania gleb gruntów ornych. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilizaton*, 2006, **27**: 69-85.
5. Grzebisz W., Diatta J.B., Szczepaniak W.: Produkcyjne i ekologiczne uwarunkowania wapnowania gleb gruntów ornych. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy* 2013, **34(8)**: 19-26.
6. Filipiek T.: Dynamika antropogenicznych przyczyn zakwaszenia gleb w Polsce w ostatnich latach. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilizaton*, 2005, **23**: 67-83.
7. Filipiek T.: Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb. *Nawozy i Nawożenie*, 2001, **8**: 5-26.
8. Filipiek T., Skowrońska M.: Aktualnie dominujące przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo w Polsce. *Acta Agrophysica*, 2013, **20(2)**: 283-294.
9. Fotyła M., Igras J., Kopiński J.: Produkcyjne i środowiskowe uwarunkowania gospodarki nawozowej w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy* 2009, **14**: 187-206.

10. 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, Puławy* 2010, **20**: 53-75.
11. Fotyma M., Zięba S.: *Przyrodnicze i gospodarcze podstawy wapnowania gleb*. Wyd. PWRiL, Warszawa 1988, ss. 250.
12. Igras J.: Środowiskowe skutki nawożenia roślin w Polsce. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. 2006, **1**: 83-92.
13. Kopiński J.: Bilans azotu brutto – agrośrodowiskowy wskaźnik oddziaływania rolnictwa na środowisko. Opis metodyki, omówienie wyników bilansu na poziomie NUTS-0, NUTS-2. *Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG-PIB Puławy*, 2017, **55**: 1-116.
14. Kopiński J.: Kierunki rozwoju różnych systemów produkcji roślinnej w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy* 2019, **60(14)**: 103-128.
15. Kopiński J.: Ocena zmian efektywności wykorzystania azotu w produkcji rolniczej Polski. *Rocz. Nauk. SERiA*, 2017, **19(1)**: 88-94.
16. Kopiński J.: Zróżnicowanie gospodarki nawozowej azotem w polskim rolnictwie. *Polish Journal of Agronomy*, 2018, **32**: 3-16.
17. Kopiński J., Jurga B.: Prognoza bilansu azotu, fosforu brutto i potasu do roku 2030, z uwzględnieniem zmian zużycia N, P, K w nawozach, w tym mineralnych, produktywności roślinnej, w kontekście możliwych działań redukcyjnych (ograniczających) straty tych biogenów. *Ekspertyza na potrzeby Departamentu Klimatu i Środowiska MRiRW, Puławy* 2021, 3-31, ss. 29 (mat. niepublikowane)
18. Kopiński J., Krasowicz S.: Regionalne zróżnicowanie nawozochłonności produkcji roślinnej. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy* 2021, **65(19)**: 123-149.
19. Kopiński J., Matyka M.: Ocena regionalnego zróżnicowania współzależności czynników przyrodniczych i organizacyjno-produkcyjnych w polskim rolnictwie. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 2016, **1(346)**: 57-79.
20. KSChR. Komunikat dotyczący priorytetowego programu pn. „Ogólnopolski program regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie”. 2019. <https://www.schr.gov.pl/index.php?c=page-&id=224&pdf=1> (11.04.2022).
21. Kozyra J., Górski T.: Wpływ zmian klimatu na uprawę roślin w Polsce. W: *Klimat – Środowisko – Człowiek*. Polski Klub Ekologiczny. 2004, ss. 41-50.
22. 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, s. 37-104.
23. Ochala P., Kopiński J.: Wpływ zakwaszenia gleb na środowisko i produkcję roślinną. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy* 2017, **53(7)**: 9-23.
24. Rutkowska A.: Racjonalne i efektywne nawożenie azotem. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy* 2014, **37(11)**: 33-46.
25. *Produkcja upraw rolnych i ogrodniczych (2002–2020)*, GUS, Warszawa 2003–2021.
26. *Rocznik Statystyczny Rolnictwa*. GUS, Warszawa 2003–2021.
27. *Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 1999/2000...2020/2021*. GUS, Warszawa 2001–2022.
28. *Użytkowanie gruntów, powierzchnia zasiewów i pogłowie zwierząt gospodarskich w 2002, ... 2017 roku*. GUS, Warszawa 2003–2020.
29. Wrzaszcz W., Kopiński J.: Gospodarka nawozowa w Polsce w kontekście zrównoważonego rozwoju rolnictwa. *Studia i Monografie, IERiGŻ-PIB*, 2019, **178**: 1-145.

30. Z a l e w s k i A.: Rynek nawozów mineralnych w Polsce – stan obecny i tendencje zmian. ppt. Mat. seminarium IERiGŻ-PIB. Warszawa, 25.03.2022. (niepublikowane)
 31. Z i ę t a r a W.: Wewnętrzne uwarunkowania rozwoju polskiego rolnictwa. Roczniki Nauk Rolniczych. Seria G, 2008, **94(2)**: 80-94.
 32. Zwierzęta gospodarskie w 2014.. 2020 roku. GUS, Warszawa 2014–2021.
-

Adres do korespondencji:

dr hab. Jerzy Kopiński
Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej
dr Piotr Ochal
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: 81 4786 821; 81 4786 842
e-mail: jkop@iung.pulawy.pl; pochal@iung.pulawy.pl

AUTOR	ORCID
Jerzy Kopiński	0000-0002-2887-4143
Piotr Ochal	0000-0002-5246-3192