

Jacek Niedźwiecki, Piotr Ochal

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

ŚRODOWISKOWE SKUTKI ZAKWASZENIA GLEB UŻYTKOWANYCH ROLNICZO I ICH OGRANICZANIE*

Słowa kluczowe: grunty rolne, pH, wapnowanie, środowisko glebowe, ochrona gleb

Wstęp

Zakwaszenie gleb w sposób bezpośredni wpływa na ich jakość oraz potencjał produkcyjny poprzez zmniejszenie przyswajalności składników pokarmowych roślin, przede wszystkim związków zasadowych. Zakwaszenie gleb przyczynia się także do zmniejszenia zawartości próchnicy w glebie oraz wzrostu przyswajalności wielu niebezpiecznych dla zdrowia ludzkiego pierwiastków śladowych, takich jak np. kadm, ołów czy nikiel (22). Do niebezpiecznych skutków środowiskowo-produkcyjnych należy zaliczyć również ograniczenie pobrania przez rośliny składników pokarmowych takich jak azot czy fosfor, przez co w wyniku wymywania przedostają się one do wód gruntowych (22), powodując eutrofizację. Obniżenie wartości pH poniżej 4,5 może wskazywać na silną degradację środowiska glebowego (13, 17).

Zakwaszenie gleb w naszym kraju wynika przede wszystkim z uwarunkowań naturalnych, m.in. położenia w środkowoeuropejskiej strefie pasa subborealnego z klimatem umiarkowanym, co ma znaczący wpływ na gospodarkę wodną naszych gleb. Ponadto przewaga opadów nad parowaniem sprawia, że większość składników pokarmowych o charakterze zasadowym jest wymywana w głąb profilu glebowego. Kolejnym czynnikiem wpływającym na naturalną podatność gleb na zakwaszenie jest charakter polodowcowy materiału, z którego wytworzona jest większość gleb Polski (12). Udział takich gleb przekracza 90% powierzchni naszego kraju (4, 12). Polodowcowy materiał, z którego wytworzona jest większość gleb Polski to głównie luźne skały okruchowe i osadowe o kwaśnym odczynie, pochodzące z obszarów

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.2 pt. „Gleby użytkowane rolniczo” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

Skandynawii (4, 8), co znajduje swoje odzwierciedlenie w procentowym udziale gleb zakwaszonych w Polsce.

Na podstawie wyników programu pn. „Monitoring chemizmu gleb ornych Polski”, stanowiącego podsystem Państwowego Monitoringu Środowiska w zakresie jakości gleb oraz ziemi i prowadzonego od 1995 r. co 5 lat w tych samych lokalizacjach, wykazano, że ponad 70% powierzchni gleb użytków rolnych Polski jest w różnym stopniu zakwaszonych: b. kwaśne – 13%, kwaśne – 26%, lekko kwaśne – 34%. Pozostałe 27% to gleby o odczynie obojętnym i zasadowym (22). Potwierdzają to również wyniki monitoringu gleb prowadzonego w latach 2008–2016 przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze (21). Do istotnych czynników wpływających na zakwaszenie gleb należy również działalność antropogeniczna. Polega ona przede wszystkim na przemysłowej emisji takich związków, jak SO_2 , NO_x i NH_3 , mogących przyczynić się do powstawania kwaśnych deszczów (4). Dodatkowo zakwaszeniu gleb sprzyja zawyżone stosowanie nawozów azotowych przy jednoczesnym spadku zużycia środków wapnujących (9, 10).

Celem niniejszego opracowania jest wskazanie najistotniejszych z punktu środowiskowego skutków zakwaszenia gleb użytków rolnych oraz przedstawienie sposobów zapobiegania temu niekorzystnemu zjawisku.

Środowiskowo-produkcyjne skutki zakwaszenia gleb

Gleby o uregulowanym odczynie zapewniają roślinom uprawnym korzystne warunki do pobierania składników pokarmowych. Wpływ odczynu gleby na przyswajalność składników pokarmowych nie jest jednakowa. Wzrost zakwaszenia gleb powoduje spadek przyswajalności takich makroskładników, jak azot, fosfor, potas, magnez, wapń oraz mikroskładników – molibdenu i boru. Natomiast wraz ze wzrostem odczynu gleby następuje spadek przyswajalności metali ciężkich, tj.: żelazo, cynk, mangan i miedź. Długotrwałe obniżenie odczynu gleby poniżej pH 5,5 skutkuje wzrostem aktywności jonów glinu i manganu, które mają toksyczne działanie przede wszystkim na system korzeniowy roślin uprawnych (5, 22).

Niewłaściwy odczyn gleb może wywoływać wiele negatywnych zmian w środowisku, powodując procesy degradacji gleby: pogorszenie struktury i przepuszczalności gleb, zwiększenie rozpuszczalności i mobilności składników mineralnych, w tym toksycznych pierwiastków śladowych, a także glinu uszkadzającego system korzeniowy roślin, naruszenie równowagi jonowej środowiska glebowego poprzez wzmaganie migracji pierwiastków do wód gruntowych, oddziaływanie na aktywność mikroorganizmów, ich rozmnażanie, oddziaływanie na wzrost i rozwój roślin oraz na wielkość i jakość plonu (22). Przy kwaśnym, a nawet już lekko kwaśnym odczynie następuje wzrost stężenia i dostępności dla roślin mobilnych form metali ciężkich (2, 7). Do negatywnych dla środowiska skutków zakwaszenia gleb można zaliczyć także utrudnione pobieranie azotu i fosforu przez rośliny, co powoduje straty azotu poprzez jego uwalnianie się do atmosfery w postaci tlenków azotu. Ponadto straty azotu

oraz fosforu z gleb przyczyniają się do pogorszenia jakości wód powierzchniowych i gruntowych (16). Potwierdzają to badania prowadzone przez Filipka i in. (3), w których wykazano, że lepsze gospodarowanie składnikami nawozowymi, w szczególności fosforem, poprawia się wraz z podwyższaniem odczynu gleby i zapewnia lepsze wykorzystanie składników pokarmowych przez rośliny, dzięki czemu w mniejszym stopniu przemieszczają się do wód, co ogranicza eutrofizację ekosystemów.

Według badań prowadzonych przez Kopińskiego i in. (11) w Polsce w latach 2006–2011 i 2012–2015 straty w produkcji roślinnej spowodowane zakwaszeniem gleb były dwukrotnie większe niż straty wynikające z niekorzystnych warunków atmosferycznych.

W zakwaszonych glebach uprawnych już przy pH 5,8–6,0, na których stosuje się nawożenie azotowe, emitowane są z gleby tlenki azotu (9), których emisja do atmosfery przyczynia się do powstawania kwaśnych deszczów wywierających negatywny wpływ na mikroorganizmy glebowe.

Tak wiele negatywnych skutków środowiskowych wynikających z zakwaszenia gleb sprawia, że niezbędne stają się działania zapobiegawcze temu niekorzystnemu zjawisku. Ponadto konieczność ochrony powierzchni ziemi przed negatywnymi skutkami zakwaszenia wynika wprost z ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, w której w artykule 101 nadmienia się, iż ochrona powierzchni ziemi polega na zachowaniu jak najlepszego stanu gleby poprzez zapobieganie działaniom powodującym zakwaszenie (25).

Stan aktualny oraz zmiany w zakwaszeniu gleb użytków ornych

Najważniejsze zmiany dotyczące aktualnego stanu gleb odnoszą się do ich zakwaszenia. Mianowicie udział gleb bardzo kwaśnych zwiększył się z ok. 20% w 1995 roku do ponad 35% w 2015 roku (tab. 1). Obecnie łączny udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych wynosi ponad 60%. Zmniejszyła się także zawartość kationów wapnia i magnezu w glebach. Gleby najbardziej zakwaszone przeważają w województwach: łódzkim, małopolskim i podkarpackim – ponad 70% gleb o odczynie bardzo kwaśnym i kwaśnym. Najmniej natomiast takich gleb wykazano w województwach kujawsko-pomorskim i opolskim – około 35% (22, 16) (rys. 1). Fakt ten wynika przede wszystkim z przyczyn naturalnych (głównie składu mineralicznego skały macierzystej) oraz wieloletnich zaniedbań w zakresie regularnego wapnowania gleb.

Tabela 1

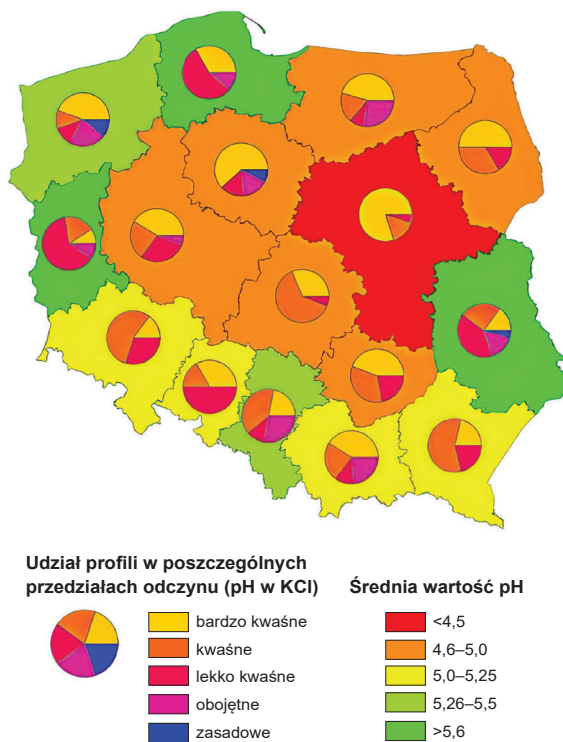
Zmiany odczynu gleb w latach 1995–2015 (22)

Odczyn	Wartość	Rok				
		1995	2000	2005	2010	2015
pH w H ₂ O	minimum	4,7	4,8	4,3	4,8	3,7
	maximum	7,7	8,2	8,0	8,4	7,8
	średnia	6,3	6,5	6,3	6,5	5,9
	mediana	6,4	6,6	6,4	6,4	5,9

cd. tab. 1

Odczyn	Wartość	Rok				
		1995	2000	2005	2010	2015
pH w KCl	minimum	3,6	3,7	3,5	3,7	3,1
	maximum	7,2	7,3	7,5	8,0	7,4
	średnia	5,3	5,4	5,3	5,5	5,1
	mediana	5,4	5,4	5,4	5,4	5,0

Źródło: Siebielec, 2017 (22)



Rys. 1. Zróżnicowanie odczynu gleb (pH w 1M KCl) w poszczególnych województwach

Źródło: Siebielec i in., 2017 (23)

Analizy danych zmian odczynu w latach 2008–2016 opracowane przez Rutkowską (21) w ramach monitoringu prowadzonego przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą oraz okręgowe stacje chemiczno-rolnicze wykazały, że 38,5% próbek gleb posiadało odczyn bardzo kwaśny i kwaśny. Natomiast Ochal i Smreczak (17) na podstawie wyników badań monitoringowych prowadzonych w IUNG-u od lat 50. XX w. wskazali na znaczny, blisko 50% (ok. 7 mln ha) udział gleb kwaśnych i bardzo kwaśnych.

Sposoby przeciwdziałania zakwaszaniu gleb

Wapnowanie gleb

Podstawowym elementem systemu nawożenia jak i ochrony gleb przed degradacją jest doprowadzenie gleby do optymalnego pH poprzez zabieg wapnowania. Wapnowanie to nawożenie gleby zasadowymi związkami wapnia w celu zobojętnienia nadmiernej kwasowości (1). Zabieg ten powoduje w środowisku glebowym również inne korzystne zmiany chemiczne, fizyczne i biologiczne, wpływając na wzrost plonów roślin, a także na środowisko (1, 6, 18). W Polsce praktyka wapnowania gleb odgrywa niezwykle istotną rolę ze względu na dużą powierzchnię gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych. Jednakże, jak wynika z danych Głównego Urzędu Statystycznego, zużycie wapna nawozowego w Polsce jest bardzo niskie i w roku gospodarczym 2018/2019 wyniosło niespełna 60 kg CaO·ha⁻¹ (20), co gorsza, sytuacja ta utrzymuje się od 2004 r. Przeciętnie szacuje się, że rocznie z powierzchni 1 ha warstwy ornej ubywa około 150–300 kg CaO i 50 kg MgO (14). Jak widać, aktualne zużycie jest nawet 5-krotnie niższe od wskazanego zapotrzebowania na wapno w skali roku.

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. Z trzech podstawowych składników mineralnych (N, P, K) najsilniej na zakwaszenie gleby reaguje fosfor (8, 19). Ochal i Kopiński (11) oszacowali, że poprawa właściwości fizykochemicznych gleb w wyniku wapnowania pozwoli ograniczyć straty tych składników pokarmowych w produkcji roślinnej o ok. 10%, tj. średnio dla Polski o 20 kg NPK·ha⁻¹ UR w dk.

Regularne, zgodne z zaleceniami nawozowymi, wapnowanie gleb gwarantuje wysoką opłacalność tego zabiegu, a także ograniczenie presji niewykorzystanych biogenów na środowisko. Aby wapnowanie było skuteczne i zarazem bezpieczne dla gleby i rośliny, dawkę wapna należy ustalać na podstawie wyników badań próbki glebowej reprezentującej dany obszar. Zapotrzebowanie na nawozy wapniowe jak i wielkość zalecanych dawek CaO·ha⁻¹ wynika ze stanu zakwaszenia gleb oraz konieczności doprowadzenia ich odczynu do uznawanego za optymalny dla danej kategorii agronomicznej gleb (tab. 2 i 3).

Tabela 2

Przedziały potrzeb wapnowania

Kategoria agronomiczna gleby	pH _{KCl} dla przedziału potrzeb wapnowania				
	konieczne	potrzebne	wskazane	ograniczone	zbędne
Bardzo lekkie	do 4,0	4,1–5,5	4,6–5,0	5,1–5,5	od 5,6
Lekkie	do 4,5	4,6–5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	od 6,1
Średnie	do 5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	6,1–6,5	od 6,6
Ciężkie	do 5,5	5,6–6,0	6,1–6,5	6,6–7,0	od 7,1
Użytki zielone	do 5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	-	-

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1990 (24)

Tabela 3

Optymalne dawki nawozów wapniowych w tonach CaO na hektar

Kategoria agronomiczna gleby	Przedział potrzeb wapnowania				
	konieczne	potrzebne	wskazane	ograniczone	zbędne
Bardzo lekkie	3,0	2,0	1,0	1,0	-
Lekkie	3,5	2,5	1,5	1,5	-
Średnie	4,5	3,0	1,7	1,7	1,0
Ciężkie	6,0	3,0	2,0	2,0	1,0

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1990 (24)

Prawidłowe ustalenie dawki nawozu wapniowego jest bardzo ważne, ponieważ przewapnowanie gleby i doprowadzenie odczynu do zasadowego wywołuje wiele negatywnych skutków, takich jak: przesuszenie gleby (szczególnie lekkiej), szybszy rozkład substancji organicznej oraz przejście niektórych składników w formy nieprzyswajalne dla roślin (fosfor, bor, żelazo, mangan). Przy wyborze formy nawozu wapniowego i ustaleniu warunków jego zastosowania należy wziąć pod uwagę gatunek gleby podlegającej wapnowaniu. Wapno tlenkowe jest odpowiednie przede wszystkim na gleby cięższe, których odczyn zmienia się bardzo powoli. Na tych glebach nie ma niebezpieczeństwa gwałtownej zmiany odczynu, gdyż odznaczają się one wysoką zdolnością buforową, dlatego nie zachodzi ryzyko przewapnowania. Natomiast na glebach lekkich, szczególnie piaszczystych, bardziej adekwatne jest stosowanie wapna węglanowego, które jest znacznie łagodniejsze w działaniu niż wapno tlenkowe.

Jednorazowe stosowanie wysokich dawek nawozów wapniowych w praktyce rolniczej nie jest uzasadnione (9). Zbyt wysokie dawki mogą wywołać szereg niekorzystnych zmian fizycznych i chemicznych gleby. By nie zakłócać właściwości gleb i zachodzących w niej przemian, jednorazowo nie należy stosować więcej jak 2/3 zalecanej dawki nawozów wapniowych w postaci tlenkowej (przy wapnowaniu koniecznym), czyli od 2,0 do 4,0 t CaO·ha⁻¹.

Zdecydowanie większa część nawozów azotowych stosowanych w polskim rolnictwie powoduje silniejsze lub słabsze zakwaszenie gleby. Zdolność zakwaszająca lub zobojętniająca nawozów azotowych wyraża się w tzw. równoważnikach wapniowych. Jest to ilość CaO, jaką należy zastosować dla zrównoważenia działania zakwaszającego 1 kg N w danym nawozie; ma on wówczas znak ujemny. W przypadku nawozów zobojętniających glebę wartość równoważnika wapniowego będzie dodatnia (6). Przykładowe równoważniki wapniowe dla wybranych nawozów przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Wartość równoważników wapniowych nawozów azotowych

Nawóz azotowy	Zawartość N w %	Równoważnik wapniowy w kg CaO na 1 kg N
Siarczan amonowy	20	-2,9
Mocznik	46	-1,0
Saletra amonowa	34	-1,0
Saletrzak z magnezem	28	-0,4
Saletra wapniowa	15,5	+0,7

Źródło: Fotyma i Zięba, 1988 (6)

Poprzez właściwy dobór nawozów azotowych można w pewnym stopniu ograniczyć presję zakwaszającą. Natomiast nawozy fosforowe i potasowe pozostają praktycznie bez wpływu na pH środowiska glebowego (6).

Podsumowanie

Zakwaszenie gleb użytkowanych rolniczo w naszym kraju stanowi nadal jeden z głównych elementów chemicznej degradacji gleb. Wynika ono po części z przyczyn naturalnych, ale również antropogenicznych. W celu przeciwdziałania negatywnym skutkom zakwaszenia gleb proponuje się szereg zaleceń służących regulowaniu odczynu gleb. Do najpopularniejszych i najskuteczniejszych takich zabiegów można zaliczyć wapnowanie gleb. Pozytywne działanie wapna polega przede wszystkim na stymulacji mikroorganizmów glebowych, przez co zwiększa się ich aktywność w glebie, a co za tym idzie również przyswajalność składników pokarmowych dla roślin. Następuje również stabilizacja zawartości trwałej frakcji próchnicy oraz sekwestracja CO₂ w glebach (8). Pozytywny efekt wapnowania to również zwiększenie potencjału produkcyjnego gleb i zmniejszenie negatywnego wpływu na ekosystemy glebowe (9). Ponadto podwyższenie odczynu gleb jest najskuteczniejszą i najprostszą metodą ograniczenia zagrożeń środowiskowych wynikających ze słabego wykorzystania składników pokarmowych z nawozów (15).

Wychodząc naprzeciw potrzebie regulacji odczynu gleby, na lata 2019–2023 został uruchomiony w Polsce program pn. „Ogólnopolski program regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie”, którego głównym zadaniem jest poprawa jakości środowiska oraz rekompensata zakupu wapna do poprawy jakości gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych. Na pewno umożliwi on i ułatwi poprawę odczynu gleb użytków rolnych. Jednak pełna ocena efektów wdrożenia programu możliwa będzie po jego zakończeniu.

Literatura

1. B o g u s z e w s k i W.: Wapnowanie gleb. PWRiL, Warszawa 1980, ss. 176.
2. C h ł o p e c k a A.: Wpływ różnych związków kadmu, miedzi, ołowiu i cynku na formy tych metali w glebie oraz na ich zawartość w roślinach. IUNG Seria R, Puławy 1994.
3. F i l i p e k T., S k o w r o Ń s k a M.: Aktualnie dominujące przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo w Polsce. *Acta Agrophysica*, 2013, **20(2)**: 283-294.
4. F i l i p e k T., F o t y m a M., L i p i Ń s k i W.: Stan, przyczyny i skutki zakwaszenia gleb ornych w Polsce. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilizaton*, 2006, **27**: 7-38.
5. F i l i p e k T.: Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilizaton*, 2001, **8**: 5-26.
6. F o t y m a M., Z i ę b a S.: Przyrodnicze i gospodarcze podstawy wapnowania gleb. Wyd. PWRiL, Warszawa, 1988, ss. 250. ISBN 83-09-01397-3.
7. G ę b s k i M.: Czynniki glebowe oraz nawozowe wpływające na przyswajanie metali ciężkich przez rośliny. 1998, *Postępy Nauk Rolniczych*, **5**: 3-16.
8. G r z e b i s z W., D i a t t a J.B., S z c z e p a n i a k W.: Produkcyjne i ekologiczne uwarunkowania wapnowania gleb gruntów ornych. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilizaton*, 2006, **27**: 69-85.
9. G r z e b i s z W., S z c z e p a n i a k W., D i a t t a J.B.: Środowiskowe skutki zakwaszenia gleb uprawnych. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **34(8)**: 19-26.
10. G r z e b i s z W., S z c z e p a n i a k W., D i a t t a J.B.: ABC wapnowania gleb uprawnych. Wyd. Prodruk, 2008, ss. 49.
11. K o p i Ń s k i J., N i e r ó b c a A., O c h a l 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.
12. K r a s o w i c z S., O l e s z e k W., H o r a b i k J., D ę b i c k i R., J a n k o w i a k J., S t u c z y Ń s k i T., J a d c z y s z y n J.: Racjonalne gospodarowanie środowiskiem glebowym Polski. *Polish Journal of Agronomy*, 2011, **7**: 43-58.
13. L i p i Ń s k i W.: Odczyn gleb Polski. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilizaton*, 2005, **23**: 33-40.
14. M e r c i k S. (red.): *Chemia rolna*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2004, ss. 287.
15. O c h a l P., K o p i Ń s k i J.: Wpływ zakwaszenia gleb na środowisko i produkcję roślinną. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, **53(7)**: 9-23.
16. O c h a l P., J a d c z y s z y n T., J u r g a B., K o p i Ń s k i J., M a t y k a M., M a d e j A., R u t k o w s k a A., S m r e c z a k B., Ł y s i a k M.: Środowiskowe aspekty zakwaszenia gleb w Polsce. Raport Techniczny na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, IUNG-PIB w Puławach, 2017, s. 43.
17. O c h a l P., S m r e c z a k B.: Zakwaszenie gleb i aktualne zagadnienia wapnowania. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, Puławy 2020, **63(17)**: 9-19.
18. O c h a l P.: Regeneracyjne wapnowanie gleb w Polsce. Instrukcja upowszechnieniowa nr 198 IUNG-PIB, Puławy 2012, ss. 32.
19. O c h a l P.: Wykorzystanie syntetycznego wskaźnika do oceny stanu agrochemicznego gleb w Polsce. Praca doktorska (maszynopis) IUNG-PIB, Puławy 2011, ss. 107. .
20. *Rocznik statystyczny rolnictwa GUS*. Warszawa 2020, ss. 449.
21. R u t k o w s k a A.: Ocena przestrzennego zróżnicowania odczynu gleb w Polsce w latach 2008–2016. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, Puławy 2018, **56(10)**: 9-20.
22. S i e b i e l e c G.: Stały Monitoring gleb użytków rolnych Polski. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, **51(5)**: 57-72.
23. S i e b i e l e c G., S m r e c z a k B., K l i m k o w i c z - P a w l a s A., K o w a l i k M., K a c z y Ń s k i R., K o z a P., U k a l s k a - J a r u g a A., Ł y s i a k M., W ó j t o w i c z U., P o r ę b a L., C h a b r o s E.: Raport z III etapu realizacji zamówienia „Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce w latach 2015–2017”. Puławy 2017, ss. 190.

-
24. Zalecenia nawozowe. Cz. I. Liczby graniczne dla wyceny zawartości w glebach makro i mikroelementów. IUNG Puławy, 1990, **P(44)**: 1-21.
25. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska. (Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627).
-

Adres do korespondencji:

dr inż. Jacek Niedźwiecki
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 4786780
e-mail: Jacek.Niedzwiecki@iung.pulawy.pl

AUTOR	ORCID
Jacek Niedźwiecki	0000-0003-0667-5060
Piotr Ochal	0000-0002-5246-3192