

UPRAWA ROŚLIN NA GRUNTACH ORNYCH W WARUNKACH ZRÓŻNICOWANEGO ODCZYNU GLEBY



**UPRAWA ROŚLIN
NA GRUNTACH ORNYCH
W WARUNKACH ZRÓŻNICOWANEGO
ODCZYNU GLEBY**

Puławy 2025

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. (81) 4786 700
e-mail: iung@iung.pulawy.pl; www.iung.pl
Dyrektor: *prof. dr hab. Mariusz Matyka*

Opracowanie pod redakcją:
Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowego Instytutu
Badawczego (IUNG-PIB)

przy współpracy z:
Ministerstwem Rolnictwa i Rozwoju Wsi (MRiRW)

Autorzy:
IUNG-PIB – *dr inż. Piotr Ochal*
IUNG-PIB – *dr hab. Jerzy Grabiński, prof. IUNG-PIB*
IUNG-PIB – *prof. dr hab. Alicja Pecio*
IUNG-PIB – *prof. dr hab. Janusz Podleśny*

Projekt okładki: *Dawid Ryski*
Opracowanie techniczne: *mgr Katarzyna Mikulska*

ISBN 978-83-7562-432-8
Publikacja elektroniczna

Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 pt. „Nawożenie użytków rolnych”
z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2025 r.

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP (<i>PIOTR OCHAL</i>)	5
2. DLACZEGO GLEBY ULEGAJĄ ZAKWASZENIU (<i>PIOTR OCHAL</i>).....	6
2.1. Źródła naturalne	6
2.2. Źródła antropogeniczne	6
3. ZNACZENIE WAPNOWANIA W UPRAWIE ROŚLIN (<i>PIOTR OCHAL</i>)	8
3.1. Wpływ odczynu gleby na dostępność podstawowych składników pokarmowych	8
3.2. Wpływ odczynu na aktywność biologiczną.....	10
3.3. Znaczenie zabiegu wapnowania dla struktury gleby	11
4. WAPNOWANIE ZBÓŻ (<i>JERZY GRABIŃSKI</i>).....	12
4.1. Wymagania zbóż w zakresie pH.....	12
4.2. Terminy stosowania wapnowania w uprawie zbóż.....	12
4.3. Wpływ właściwego pH gleby na wzrost, rozwój i plonowanie zbóż	14
5. UPRAWA ROŚLIN PRZEMYSŁOWYCH UWZGLĘDNIAJĄCA REGULACJĘ ODCZYNU GLEBY (<i>ALICJA PECIO</i>).....	15
5.1. Rzepak	15
5.2. Len oleisty i włóknisty.....	16
5.3. Słonecznik.....	17
6. UPRAWA ROŚLIN OKOPOWYCH UWZGLĘDNIAJĄCA REGULACJĘ ODCZYNU GLEBY (<i>ALICJA PECIO</i>).....	18
6.1. Burak cukrowy.....	18
6.2. Ziemiak	21
7. UPRAWA ROŚLIN PASTEWNYCH UWZGLĘDNIAJĄCA REGULACJĘ ODCZYNU GLEBY (<i>JANUSZ PODLEŚNY</i>)	23
7.1. Wymagania glebowe roślin pastewnych.....	24
7.2. Wpływ niskiego odczynu gleby na właściwości gleby i rozwój roślin	26
7.3. Wpływ odczynu gleby na symbiozę roślin bobowatych z bakteriami wiążącymi azot atmosferyczny	31
7.4. Potrzeby wapnowania roślin bobowatych	32
7.5. Wrażliwość roślin na wapnowanie	32

7.6. Wpływ odczynu gleby na plonowanie roślin pastewnych.....	32
7.7. Wpływ właściwego pH gleby na wzrost, rozwój i plonowanie roślin pastewnych – charakterystyka gatunków	33
8. NAWOZY WAPNIOWE DO ODKWASZANIA GLEB (<i>PIOTR OCHAL</i>)	39
9. WSPÓLNA POLITYKA ROLNA (<i>PIOTR OCHAL</i>).....	51
10. PODSUMOWANIE (<i>PIOTR OCHAL</i>).....	53
11. LITERATURA	55

1. WSTĘP

Znaczna część gleb Polski, niezależnie od sposobu ich użytkowania, jest zakwaszona, a grunty orne w ponad 40% wykazują odczyn bardzo kwaśny i kwaśny. Wysoki udział gleb kwaśnych utrudnia, a w wielu przypadkach uniemożliwia spełnianie ich funkcji produkcyjnych, siedliskowych, retencyjnych oraz uzyskiwanie wysokojakościowych surowców do produkcji żywności bezpiecznej dla zdrowia człowieka oraz wysokowartościowej paszy dla zwierząt gospodarskich.

Odczyn jest podstawowym i najłatwiej mierzalnym wskaźnikiem jakości gleby, decydującym o przebiegu wielu procesów glebowych. Regulowany jest przez zastosowanie wapnowania, które polega na nawożeniu gleby zasadowymi związkami wapnia w celu zobojętnienia nadmiernej kwasowości. Wapnowanie jest ważnym zabiegiem agrotechnicznym/środowiskowym o wielokierunkowym wpływie na właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleb. Sprzyja zwiększeniu aktywności mikrobiologicznej środowiska glebowego, intensyfikacji procesów mineralizacji, zwiększeniu dostępności i efektywności składników mineralnych. Wapnowanie, poprzez wpływ na zmniejszenie rozpuszczalności soli metali ciężkich, jest również czynnikiem zmniejszającym ich przemieszczanie się w łańcuchu troficznym. Uprawa roślin na glebach o optymalnym dla nich odczynie gwarantuje dobre wykorzystanie składników pokarmowych z rezerw glebowych, nawozów naturalnych i mineralnych. W praktyce rolniczej do oceny zakwaszenia gleb stosowane są w naszym kraju pomiary pH w zawiesinie gleby w $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ chlorku potasu.

Niniejsze opracowanie ma na celu przedstawienie praktycznych informacji dotyczących uprawy roślin w warunkach różnego odczynu gleb. Omówiono przyczyny zakwaszania się gleb (naturalne, przyrodnicze), ze szczególnym uwzględnieniem działania zakwaszającego nawozów mineralnych. Wymieniono wymagania roślin zbożowych, okopowych, przemysłowych, pastewnych co do pH gleby, omówiono także strategię ich wapnowania. Scharakteryzowano środki wapnujące, przedstawiono podstawowe zalecenia w zakresie wapnowania gleb. W ramach podsumowania opracowano również wskazówki, jakimi należy się kierować przy podjęciu najlepszej decyzji dotyczącej wapnowania gleb.

2. DLACZEGO GLEBY ULEGAJĄ ZAKWASZENIU

Zakwaszenie gleby jest skutkiem naturalnych procesów prowadzących do akumulacji netto kationów wodoru (H^+). Zjawisko to ujawnia się tylko wówczas, gdy gleba nie jest w stanie we własnym zakresie neutralizować nadmiaru jonów H^+ , co objawia się spadkiem odczynu. Źródła zakwaszenia możemy podzielić na naturalne, niezależne od człowieka, jak i antropogeniczne, które są skutkiem jego aktywności zawodowej.

2.1. Źródła naturalne

W Polsce zakwaszenie gleb ma charakter przede wszystkim naturalny i wynika ze specyfiki procesu glebotwórczego i rodzaju skał macierzystych, z których zostały utworzone. Ponad 90% obszaru Polski zajmują gleby polodowcowe lekkie i bardzo lekkie, wytworzone z kwaśnych skał osadowych, okruchowych luźnych, przyniesionych przez lodowce ze Skandynawii. Z kwaśnych skał osadowych najpierw w wyniku hydrolizy następowała mobilizacja, a następnie wymywanie wapnia, magnezu oraz innych kationów o charakterze zasadowym. Ze względu na przewagę opadów nad parowaniem w okresie jesienno-zimowym, zdecydowana większość gleb naszego kraju jest poddawana procesom wymywania składników zasadowych w głąb profilu glebowego. Proces ten nasila się na glebach lekkich, silnie przepuszczalnych, stanowiących niemal 60% pokrywy glebowej naszego kraju. Do naturalnych źródeł zakwaszenia, których skutkiem jest także produkcja kationów wodoru, należą również: pobieranie kationów przez rośliny, utlenianie azotu amonowego gleby, oddychanie korzeni roślin, wietrzenie gleby czy mineralizacja materii organicznej gleby. Przyrodnicze przyczyny zakwaszenia gleb istnieją stale, ale stają się groźne dla agroekosystemów, gdy zostaną wsparte czynnikami antropogenicznymi.

2.2. Źródła antropogeniczne

Za główne przyczyny antropogenicznego zakwaszenia uznaje się stosowanie nawozów mineralnych, głównie azotowych zawierających azot w formie amonowej oraz emisje kwasotwórczych zanieczyszczeń powietrza dwutlenku siarki i tlenków azotu, które opadają na gleby w postaci suchego bądź mokrego depozytu.

Stosowanie nawozów azotowych powoduje zakwaszenie gleb w stopniu tym większym, im dawki azotu (N) są większe i im większy jest udział formy amonowej w nawozach. Wszystkie nawozy azotowe, z wyjątkiem rzadko stosowanych: saletry wapniowej ($Ca(NO_3)_2$) i sodowej $NaNO_3$ – lekko alkalizujących glebę, zakwaszają środowisko. Azot w postaci amonowej NH_4^+ i mocznika $CO(NH_2)_2$, który w wyniku urolizy również przechodzi w formę amonową, powoduje zakwaszenie roztworu glebowego zarówno w wyniku nityfikacji, jak i pobierania kationu NH_4^+ przez system korzeniowy roślin. Pobieraniu kationu NH_4^+ towarzyszy zazwyczaj równoważ-

ne wydzielanie przez korzenie protonu H^+ . Szacuje się, że 1 kg azotu amonowego z nawozu mineralnego wywołuje zakwaszenie równoważne około 2 kg CaO. Dla lepszego zobrazowania zakwaszającego oddziaływania poszczególnych nawozów azotowych wyznaczono ilość węglanu wapnia $CaCO_3$ potrzebną dla zrównoważenia ich działania zakwaszającego (tab. 2.2.1).

Tabela 2.2.1. Równoważniki kwasowe i zasadowe wybranych nawozów azotowych

Nazwa nawozu	Równoważnik ($kg CaCO_3 \cdot 100 kg^{-1}$ nawozu)	
	kwasowy	zasadowy
Siarczan amonu	110	-
Mocznik	82	-
Saletra amonowa	61	-
Woda amoniakalna	36	-
Saletrzak	30	-
Saletra wapniowa	-	21
Saletra sodowa	-	28

Źródło: Filipek i in. 2015

Nawozy azotowe i wieloskładnikowe, które uwalniają jony amonowe w wyniku przemian w glebie (m.in. siarczan amonu, saletra amonowa, saletrzak, mocznik, fosforan amonu), przyczyniają się do zakwaszenia gleb poprzez:

- wypieranie z kompleksu sorpcyjnego jonów kwaśnych i kationów zasadowych, co prowadzi odpowiednio do uruchomienia kwasowości czynnej oraz wymywania jonów Ca^{2+} i Mg^{2+} wraz z anionami towarzyszącymi,
- pobieranie przez rośliny i/lub mikroorganizmy kationu NH_4^+ i wydzielanie jonów H^+ (fizjologiczna kwasowość),
- nitryfikację azotu pochodzącego z nawozów mineralnych oraz z substancji organicznej (efekt bodźcowy),
- utlenianie amoniaku.

Do zakwaszenia gleby przyczyniają się również nawozy potasowe. Oddziaływanie soli potasowych wiąże się nie tyle z bezpośrednim zwiększaniem koncentracji protonów wodorowych w glebie, ile z wypieraniem jonów glinowych z kompleksu sorpcyjnego gleby do roztworu glebowego.

Część nawozów azotowych zawiera składniki, które mogą przyczyniać się do neutralizacji zakwaszenia (np. węglan wapnia w saletrzaku), co wpływa na zmniejszenie wartości równoważnika kwasowego lub powoduje alkalizację środowiska (np. saletra wapniowa, sodowa). Aniony z saletry wapniowej lub sodowej przy absorpcji przez organizmy żywe oraz denitryfikacji przyczyniają się do alkalizacji środowiska, a niepobrany kation zwiększa wysycenie kompleksu sorpcyjnego zasadami.

3. ZNACZENIE WAPNOWANIA W UPRAWIE ROŚLIN

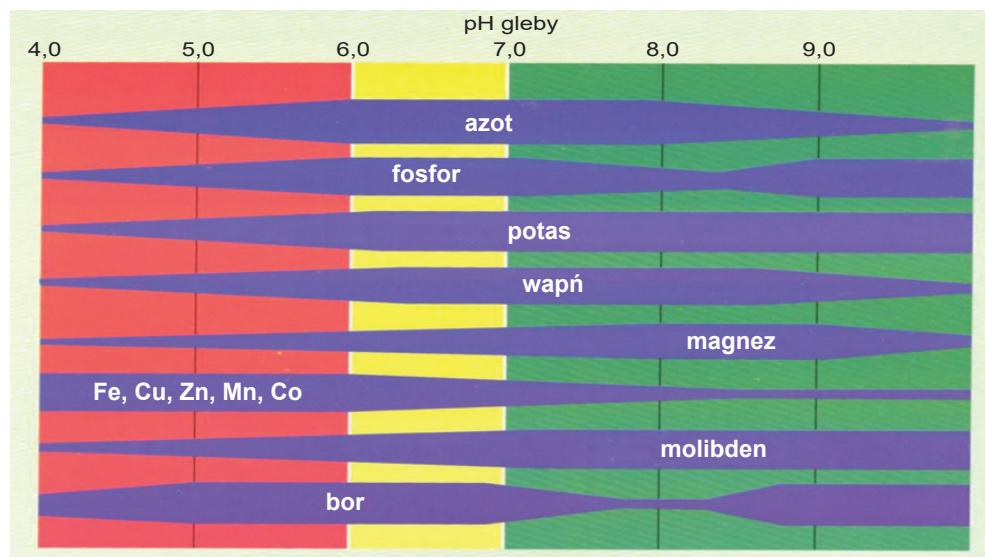
Rośliny do prawidłowego wzrostu i rozwoju wymagają odpowiednich warunków agroekologicznych. Spełnienie ich jest gwarancją realizowania potencjału produkcyjnego zapisanego w genach uprawianych gatunków. Do podstawowych czynników pozwalających na jego realizację należą, między innymi: odpowiednie siedlisko, woda, zasobność w składniki pokarmowe oraz odczyn gleby. Skutkiem zakwaszenia gleb jest pogorszenie ich właściwości fizycznych, fizykochemicznych, chemicznych i biologicznych, w szczególności:

- wzmożone straty składników pokarmowych z gleby, głównie wapnia i magnezu, w głąb profilu glebowego. Przeciętnie szacuje się, że straty wapnia wynoszą około $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, a magnezu $30\text{--}60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$;
- zakwaszenie gleb sprzyja hydrolizie związków glinu i uwalnianiu tego pierwiastka do roztworu glebowego. Glin aktywny (Al^{3+}) już w niewielkich stężeniach ($1 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby) staje się toksyczny dla roślin;
- w glebach kwaśnych zmniejsza się dostępność niektórych składników pokarmowych roślin, które przy kwaśnym odczynie gleby przechodzą w formy trudno przyswajalne (fosfor, molibden, bor);
- ograniczony jest rozwój wielu grup mikroorganizmów glebowych, takich jak: bakterie nitryfikacyjne, symbiotyczne i wolno żyjące bakterie asymilujące azot z powietrza. Ponadto w glebach kwaśnych zmniejsza się aktywność mikroorganizmów glebowych biorących udział w mineralizacji i humifikacji materii organicznej;
- zmniejsza się ilość materii organicznej w glebie na skutek wzrostu rozpuszczalności i wymywania w głąb profilu glebowego kwasów fulwowych. Zakwaszenie gleby sprzyja także powstawaniu soli kwasów próchnicznych z glinem i żelazem, które łatwo ulegają wymywaniu w głębsze warstwy profilu glebowego;
- wzrasta aktywność wielu metali ciężkich (np. Mn, Fe, Zn, Cu, Cd, Pb), których dostępność dla roślin zwiększa się wraz z obniżaniem pH gleby na skutek ich desorpcji do roztworu glebowego;
- pogarsza się struktura agregatowa gleby;
- zmniejszają się funkcje produkcyjne gleb: ciężkich ($\text{pH} < 6,0$), średnich ($\text{pH} < 5,5$), lekkich ($\text{pH} < 5,0$).

3.1. Wpływ odczynu gleby na dostępność podstawowych składników pokarmowych

Odczyn gleby jest jednym z podstawowych czynników oddziałujących na dostępność składników pokarmowych dla roślin z roztworu glebowego. Większość pierwiastków najlepiej pobierana jest w zakresie odczynu od lekko kwaśnego do

obojętnego (pH 5,6–7,0). Wpływ odczynu gleby na przyswajalność składników pokarmowych jest zróżnicowany (rys 3.1.1). Wraz z zakwaszaniem się gleb następuje ograniczenie przyswajalności N, P, K, Mg, Ca oraz mikrośladników Mo i B. Natomiast wraz ze wzrostem odczynu gleby ma miejsce zmniejszenie przyswajalności metali ciężkich: Fe, Zn, Mn i Cu. Spadek odczynu poniżej pH 5,5 prowadzi do wzrostu aktywności jonów glinu i manganu, które mogą toksycznie oddziaływać na rośliny.



Rys. 3.1.1. Odczyn a dostępność składników mineralnych z gleby (Grzebisz i in. 2005)

Wapnowanie w dużym stopniu wpływa na zawartość przyswajalnego fosforu dla roślin. Fosfor w glebie występuje głównie w związkach mineralnych (fosforany glinu, żelaza, wapnia i magnezu), a także częściowo w postaci organicznej. Fosforany żelaza i glinu są prawie nierozpuszczalne przy odczynie kwaśnym, a fosforany wapnia i magnezu są trudno rozpuszczalne przy odczynie słabo zasadowym. Maksimum przyswajalności fosforu osiąga się zwykle przy wapnowaniu gleby do odczynu słabo kwaśnego lub obojętnego. W glebach ciężkich, w których istotne znaczenie ma sorpcja wymienna kwasu fosforowego, optimum dla przyswajalności fosforu zbliża się do pH 7,0, a w glebach lekkich, w których główne znaczenie ma sorpcja chemiczna przez kationy glinu i żelaza, optimum zbliża się do pH 5,5.

Wpływ zabiegu wapnowania na zachowanie azotu w glebie jest złożony. Wapnowanie wpływa na przyspieszenie rozkładu substancji organicznej i procesu nityfikacji, które przebiegają intensywniej przy odczynie lekko kwaśnym i obojętnym. Wzrost odczynu gleby sprzyja pobieraniu przez rośliny azotu w formie amonowej.

Niski odczyn utrudnia przechodzenie azotu amonowego w formę azotanową. Rośliny wrażliwe na kwaśny odczyn gleby wykształcają słabo rozwinięty system korzeniowy, który nie może skutecznie pobierać jonów azotanowych. Jony te mogą być wymywane w głąb profilu glebowego poza zasięg korzeni i bezpowrotnie tracone.

Wraz ze wzrostem odczynu gleby następuje spadek przyswajalności mikroelementów: żelaza (Fe), cynku (Zn), manganu (Mn) i miedzi (Cu); wyjątkiem jest molibden (Mo), którego dostępność wzrasta. W takiej sytuacji niezwykle ważne jest dokarmianie roślin poprzez stosowanie nawozów mineralnych wzbogaconych w mikroelementy lub stosowanie ich w postaci oprysków dolistnych.

3.2. Wpływ odczynu na aktywność biologiczną

Aktywność biologiczna, a zwłaszcza mikrobiologiczna gleb zależy w dużym stopniu od zakwaszenia. Największa aktywność mikroorganizmów glebowych zachodzi w glebach o odczynie obojętnym lub lekko zasadowym. Przemiana NH_4^+ do NO_3^- (nityfikacja) jest tego najlepszym przykładem, bowiem jest procesem najbardziej wrażliwym na niskie pH. W warunkach kwaśnego odczynu procesy mineralizacji i humifikacji materii organicznej są bardzo spowolnione. Odczyn gleby decyduje o liczebności i różnorodności mikroorganizmów oraz o aktywności enzymów syntetyzowanych przez te mikroorganizmy. W glebach zakwaszonych znacznie spada szybkość rozkładu organicznych związków węgla, azotu, siarki, fosforu. Staje się to przyczyną spowolnienia obiegu tych biogenów w agroekosystemie. Zasobność i produktywność gleby znacznie się obniża. Zmniejszają się zasoby materii organicznej gleby i pogarsza się jej jakość. Wzrasta udział kwasów fulwowych w próchnicy i na skutek tego rośnie rozpuszczalność kationów zasadowych, takich jak wapń i magnez. To z kolei powoduje zwiększone wymywanie ich w głąb profilu glebowego i dalsze zakwaszenie powierzchniowej warstwy gleby. W tabeli 3.2.1 przedstawiono optymalny odczyn dla rozwoju mikroflory w glebie.

Tabela 3.2.1. Optymalny odczyn dla rozwoju mikroflory w glebie

Zasadnicze grupy drobnoustrojów	Drobnoustroje	Odczyn pH optymalny	Dolna granica tolerancji pH
Drobnoustroje rozkładające substancję organiczną	grzyby	4,0–5,0	1,5–2,0
	amonifikatory	6,2–7,0	-
	denitryfikatory	7,0–8,0	-
	nityfikatory	6,5–7,2	4,8–5,0
	uruchamiające fosfor	6,5–7,2	-

cd. tabela 3.2.1

Zasadnicze grupy drobnoustrojów	Drobnoustroje	Odczyn pH optymalny	Dolna granica tolerancji pH
Bakterie asymilujące wolny azot	symbiotyczne		
	lucerny	6,8–7,2	4,9–5,0
	koniczyny	6,8–7,2	4,2–4,7
	grochu	6,5–7,0	4,0–4,5
	wyki	6,5–7,0	4,0–4,5
	lubinu	5,5–6,5	3,2–3,5
	seradeli	5,5–6,5	3,2–3,5
	niesymbiotyczne		
	azotobakter	6,5–7,5	5,5–6,0
	<i>Clostridium pasteurianum</i>	5,0–7,0	4,7–5,0

Źródło: Boguszewski 1980

3.3. Znaczenie zabiegu wapnowania dla struktury gleby

W wyniku wapnowania poprawia się struktura gruzełkowata gleb, zwłaszcza ciężkich, co jest niezwykle istotne dla rozwoju systemu korzeniowego roślin uprawianych szczególnie na glebach zawierających duży udział cząstek ilastych. Związki wapnia z próchnicą cementują gruzełki gleby, uodparniając je na działanie wody. Struktura gruzełkowata umożliwia szybszą penetrację korzenia w głąb profilu glebowego oraz wpływa korzystnie na magazynowanie wody opadowej. Zwiększenie udziału drobnych gruzełków w glebie w wyniku wapnowania ma duże znaczenie na glebach cięższych. Gleba taka jest mniej podatna na zlepianie się, jeśli jest wilgotna i na zaskorupianie po jej wysuszeniu. W glebach o uregulowanym odczynie rośliny ukorzeniają się głębiej, ponieważ gleba taka charakteryzuje się mniejszą zwięzłością i głęboka uprawa staje się łatwiejsza.

4. WAPNOWANIE ZBÓŻ

4.1. Wymagania zbóż w zakresie pH

Zboża są bardzo zróżnicowaną grupą roślin uprawnych pod względem wymagań w zakresie pH. Najbardziej wrażliwym gatunkiem z tej grupy jest jęczmień. Tylko nieco mniejsze wymagania ma w tym względzie pszenica i kukurydza. Pszenżyto można określić jako gatunek średnio wrażliwy na niskie pH, a żyto i owies – jako gatunki najmniej wrażliwe. Optymalne pH dla poszczególnych gatunków zawiera się w dość szerokich granicach. Dla pszenicy, jęczmienia oraz kukurydzy mieści się ono w zakresie od 6,0 do 7,5. Dla żyta i owsa optymalne pH waha się w granicach 5,0–6,5. Najszerzy zakres optymalnego pH dotyczy pszenżyta, tj. od 5,0 do 7,0. Jeśli pH na danym polu wykracza poza wyżej określone granice, to można oczekiwać, że rośliny danego gatunku będą słabiej rosły, a nawet zamierały, a w efekcie plon ziarna będzie mniejszy i gorszej jakości.

4.2. Terminy stosowania wapnowania w uprawie zbóż

Wybór terminu wapnowania pola pod uprawę konkretnego gatunku zboża zależy od wielu czynników. Jednym z nich jest wrażliwość roślin na zbyt niskie pH. Gatunki wrażliwe na ten czynnik należy wapnować możliwie wcześniej, najlepiej pod roślinę przedplonową. W przypadku zbóż podstawowych dotyczy to przede wszystkim jęczmienia i pszenicy, ale także kukurydzy. Konieczność wcześniejszego wapnowania pól przeznaczonych pod uprawę gatunków wrażliwych na niskie pH wynika z tego, że zmiany w glebie wynikłe z zastosowania wapna są stosunkowo wolne i ujawniają się w pełni dopiero w kolejnym sezonie wegetacyjnym. W praktyce jednak nie zawsze takie wyprzedzenie jest możliwe i dlatego akceptowalne jest zastosowanie wapna bezpośrednio pod pszenicę, jęczmień czy kukurydzę. Stosując wapno bezpośrednio pod gatunek wrażliwy na niskie pH, czy też pod inne gatunki mniej wrażliwe, zawsze należy dążyć do tego, by okres od zastosowania wapna do zastosowania nawożenia podstawowego był możliwie długi. Dlatego też wapnowanie pod gatunki ozime zbóż najlepiej wykonać na ściernisko, zaraz po zbiorze rośliny przedplonowej, raczej nie później niż na przełomie lipca i sierpnia. Wtedy wapno w czasie uprawek późniwnych zostanie dokładnie wymieszane z glebą, a to ma zasadnicze znaczenie dla dużej efektywności wapnowania. Późniejsze wapnowanie na pewno będzie dawało gorsze efekty. Graniczny termin dla wapnowania ozimin zbożowych to około 30 dni przed zaplanowanym zastosowaniem nawożenia podstawowego, w szczególności zaś nawozów zawierających fosfor i azot. Późniejsze wapnowanie może spowodować nieodwracalne straty tych składników.

Wapnowanie pod zboża jare najlepiej jest przeprowadzić jesienią, zaraz po zbiorze rośliny przedplonowej. Korzystna jest wówczas sucha gleba i niezbyt duża wilgotność powietrza. Pod zboża jare najczęściej przeznaczają się pola obsiane roślinami zbieranymi późną jesienią, kiedy to nierzadko warunki pogodowe są jednak bardzo niekorzystne do aplikacji wapna. Dlatego czasami może zdarzyć się konieczność zastosowania wapna wiosną. Na zabieg w tym terminie należy się zdecydować tylko wtedy, gdy zakwaszenie gleby jest bardzo wysokie i można się spodziewać, że wpłynie to negatywnie na wzrost i plonowanie uprawianego gatunku. Wapnowanie wczesnowiosenne należy przeprowadzić możliwie najwcześniej, ale kiedy gleba w całym profilu już jest rozmarznięta i tylko jej wierzchnia warstwa często przemarza nocą, co daje możliwość wcześniejszego wjazdu z wapnem na pole (bardzo często tylko w godzinach porannych). Efektywność wiosennego wapnowania jest jednak zdecydowanie mniejsza niż w przypadku stosowania jesiennego i takiego terminu zastosowania wapna należy wystrzegać się, zwłaszcza pod wymienione wcześniej gatunki wrażliwe na niskie pH, takie jak jęczmień czy pszenica. Również pod kukurydzę wiosenny termin wapnowania nie jest najlepszy, ale akceptowalny ze względu na to, że termin jej siewu jest późniejszy niż pozostałych zbóż.

Możliwe jest zastosowanie wapna na zboża pogłównie, ale jest to na tyle nieefektywne rozwiązanie, że powinno się je raczej wykluczyć. Jeśli jednak z jakiegoś względu wapnowanie pogłównie przewidziano, to należy je przeprowadzić w niepełnej dawce, wapnem węglanowym. Działanie takiego wapna będzie w roku zastosowania dotyczyło oczywiście tylko wierzchniej, kilkucentymetrowej warstwy gleby. W zasadzie powinno być ono ograniczone do sytuacji, w której są widoczne ewidentnie negatywne efekty zbyt niskiego pH na roślinach. Sposobem na zastosowanie wapnia w sposób interwencyjny, w czasie wegetacji, jest użycie do tego celu nawozu azotowego zawierającego wapń, w szczególności saletry wapniowej. Nawóz ten w pewnym stopniu może złagodzić negatywne skutki zbyt dużej kwasowości gleby. Podstawowym mankamentem takiego rozwiązania jest jednak wysoka cena nawozu, co sprawia, że na ogół jego stosowanie ogranicza się do upraw warzywnych.

W uprawie lucerny, jeżeli jest ona wysiewana w roślinę ochronną, np. owies czy jęczmień, to wówczas wapnowanie należy przewidzieć pod wymienione rośliny ochronne. Natomiast w przypadku, gdy w zmianowaniu jest ziemniak, a po nich zboże wrażliwe na niskie pH, np. jęczmień, to wówczas należy zastosować wapnowanie bezpośrednio pod wymieniony gatunek zboża. Nie można w tym przypadku zastosować zasady wysiewu wapna pod roślinę przedplonową, bo ziemniak źle znosi wapnowanie pola bezpośrednio przed sadzeniem; istnieje niebezpieczeństwo wystąpienia parcha prószystego.

4.3. Wpływ właściwego pH gleby na wzrost, rozwój i plonowanie zbóż

Negatywne skutki zbyt niskiego pH gleby są widoczne na zbożach już w początkowych fazach wzrostu. Młode siewki mają osłabiony wzrost i zażółcone liście, a w przypadku, gdy pH jest bardzo niskie, dochodzi nawet do zamierania korzeni, a w efekcie do zamierania całych roślin i tym samym do przerzedzenia ładu. Rośliny, które nie zginą całkowicie są niższe i mniej rozkrzewione. Kłosa są słabiej rozwinięte, a ziarno drobne. W efekcie plony ziarna są mniejsze. Jak wynika z danych zamieszczonych w tabeli 4.3.1, zbyt niskie pH w przypadku jęczmienia ozimego może prowadzić do obniżki plonu nawet o ponad 30%.

Tabela 4.3.1. Plonowanie pszenicy ozimej i jęczmienia ozimego w zależności od pH gleby

pH gleby	Pszenica ozima			Jęczmień ozimy		
	liczba doświadczeń	plon ziarna		liczba doświadczeń	plon ziarna	
		t·ha ⁻¹	%		t·ha ⁻¹	%
6,6–7,2	17	6,46a	100	16	6,54a	100
5,9–6,5	32	5,83b	90	25	5,60b	86
5,0–5,8	26	5,15c	81	23	4,94c	75
4,3–4,9	22	4,76d	73	17	4,48d	69

Źródło: Noworolnik 2009

Badania wykazały, że pomiędzy odmianami poszczególnych gatunków istnieje dość duże zróżnicowanie w reakcji na pH. Pokazują to między innymi badania przeprowadzone przez Noworolnika i Grabińskiego (2017) (tab. 4.3.2). Wynika z nich, że wśród badanych odmian żyta, gatunku określanego jako odporny na niskie pH, oprócz odmian reagujących niewielkimi spadkami plonu wskutek obniżenia pH są także odmiany, które reagują stosunkowo dużymi spadkami plonu, przekraczającymi 1 t·ha⁻¹.

Tabela 4.3.2. Wpływ pH na plonowanie odmian żyta

Odmiana	pH > 5,5	pH 5,0–5,5	pH < 5,0
Bellami F1	7,65	7,47	7,13
Bosmo	6,54	6,46	6,20
Brasetto F1	7,59	6,47	7,02
Dańkowskie Diament	6,63	6,79	6,11
Domir	6,85	6,81	6,61
Gonello F1	7,47	7,13	6,54
Herakles	7,38	6,86	6,25
Minello F1	7,57	7,40	6,95
Stanko	6,92	6,73	6,38
Visello F1	7,61	7,44	7,09

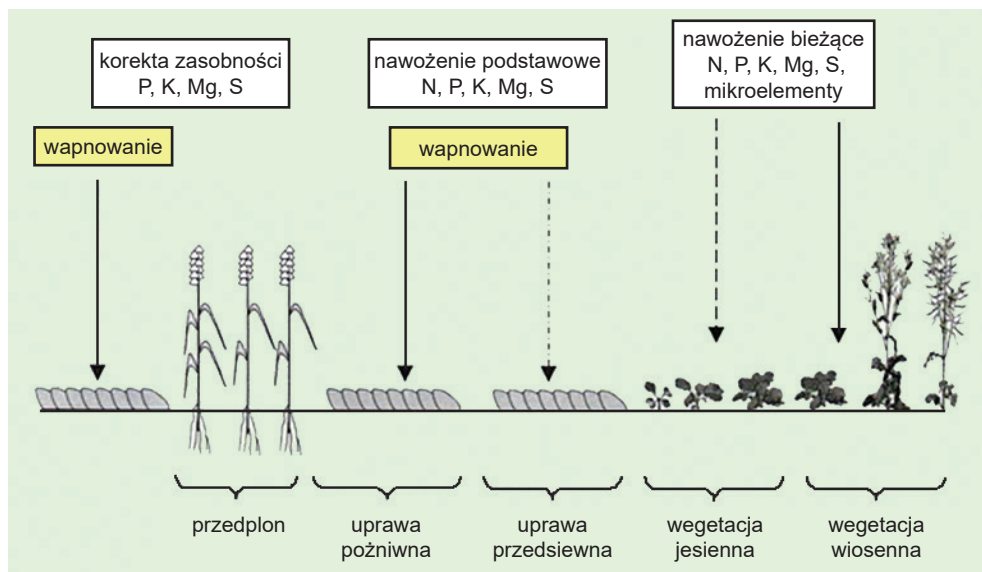
Źródło: Noworolnik i Grabiński 2017

5. UPRAWA ROŚLIN PRZEMYSŁOWYCH UWZGLĘDNIAJĄCA REGULACJĘ ODCZYNU GLEBY

5.1. Rzepak

Regulacja odczynu gleby – wapnowanie

Monitorowanie stanu kwasowości gleby należy przeprowadzić co najmniej rok przed siewem rzepaku (rys. 5.1.1). Warunkiem koniecznym jest przygotowanie stanowiska tak, aby gleba w momencie siewu charakteryzowała się uregulowanym odczynem pH – od 6,5 do 7,0, gdyż tylko przy takich wartościach tego wskaźnika rośliny dysponują optymalnymi warunkami do wzrostu systemu korzeniowego oraz pobierania fosforu i wapnia.



Rys. 5.1.1. Technologia nawożenia rzepaku ozimego – kolejność zabiegów nawozowych; linia przerywana oznacza termin warunkowy (Grzebisz 2011)

Regulacja odczynu pod przedplon poprawia strukturę gleby, a tym samym zwiększa ilość wody zakumulowanej z zapasów zimowych. Ponadto następuje poprawa dostępności składników pokarmowych, głównie fosforu i potasu, lecz jednocześnie zmniejsza się dostępność mikroskładników. W glebie o uregulowanym odczynie roślina buduje duży, silny system korzeniowy i tym samym wpływa korzystnie na ogólne warunki do pobierania wody i składników pokarmowych z głębszych warstw

profilu glebowego, a ponadto zwiększa ich odporność na suszę. Dobór nawozu wapniowego odgrywa drugorzędą rolę, pod warunkiem, że:

- zabieg przeprowadza się pod przedplon;
- stosowane dawki wapna istotnie korygują odczyn gleby.

W sytuacji, gdy zabieg przeprowadza się po zbiorze przedplonu, konieczne jest wprowadzenie nawozu szybko działającego, najlepiej tlenkowego, ewentualnie tlenkowo-węglanowego, najlepiej z dodatkiem magnezu.

Wapnowanie łąn rzepaku w okresie wegetacji, np. na skutek wymywania wapnia z gleby (Opitz von Boberfeld, 1994) (tzw. zabieg ratujący plon), można przeprowadzić w dwóch terminach. Pierwszy przypada na wegetację jesienną, w okresie od wytworzenia przez rośliny piątego liścia do spoczynku zimowego. Drugi termin przypada natomiast na okres spoczynku zimowego do wiosennego ruszenia wegetacji. Wapnowanie w tym terminie polega na pogłównym stosowaniu niewielkich dawek wapna nawozowego, w ilości 0,5–1,0 t $\text{CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$ w formie węglanowej, najlepiej granulowanej kredy.

5.2. Len oleisty i włóknisty

Odczyn gleby jest znaczącym czynnikiem jej żyzności, wymagającym regulacji. Może on bowiem stanowić czynnik ograniczający wzrost korzeni oraz pobieranie fosforu, a także mikroskładników, takich jak bor i cynk. Len wykształca bardzo słaby system korzeniowy, nieefektywny w pobieraniu wymienionych składników pokarmowych. Przystępując do regulacji odczynu, należy pamiętać, że dostępność fosforu zwiększa się w glebie o pH powyżej 6,0, natomiast bor osiąga maksymalną zawartość w roztworze glebowym o pH w granicach od 6,0 do 7,0. Len włóknisty jest jednocześnie wrażliwy na nadmiar wapnia w środowisku, ponieważ składnik ten pogarsza jakość włókna. Biorąc pod uwagę wymienione zależności można stwierdzić, że dla lnu włóknistego optymalny jest odczyn od lekko kwaśnego do obojętnego, a dla lnu oleistego odczyn obojętny.

Z powyższych względów wapnowanie stanowiska pod len przeprowadza się najpóźniej pod przedplon, stosując dawki wapna pozwalające osiągnąć wskazany zakres odczynu. W stanowisku pod len oleisty zabieg ten można warunkowo przeprowadzić po zbiorze poplonu, ale wówczas należy bezwzględnie wprowadzić do gleby wapno zawierające magnez lub przedsięwzięć zastosować nawozy magnezowe.

5.3. Słonecznik

Słonecznik toleruje gleby o odczynie od umiarkowanego do lekko zasadowego (6,6–7,5). Gwarantuje to optymalne zaopatrzenie roślin w wapń oraz dużą efektywność azotu.

Regulacja odczynu powinna być pierwszym etapem w każdym planie nawozowym uwzględniającym słonecznik. Wskazana jest regulacja pod przedplon, stosując dawki wapna zgodnie z ogólnymi zasadami. Zastosowana dawka wapna powinna zapewnić w momencie siewu słonecznika pH na poziomie minimalnym, wynoszącym co najmniej 6,6. Dobór nawozów wapniowych pod przedplon nie odgrywa większej roli, natomiast po zbiorze przedplonu wskazane są nawozy tlenkowe. Zabiegiem koniecznym jest wielokrotne mieszanie wapna z glebą, w tym co najmniej raz na głębokość maksymalnego zasięgu narzędzi uprawowych. Takie postępowanie jest wskazane w sytuacji, gdy zabieg wapnowania jest spóźniony.

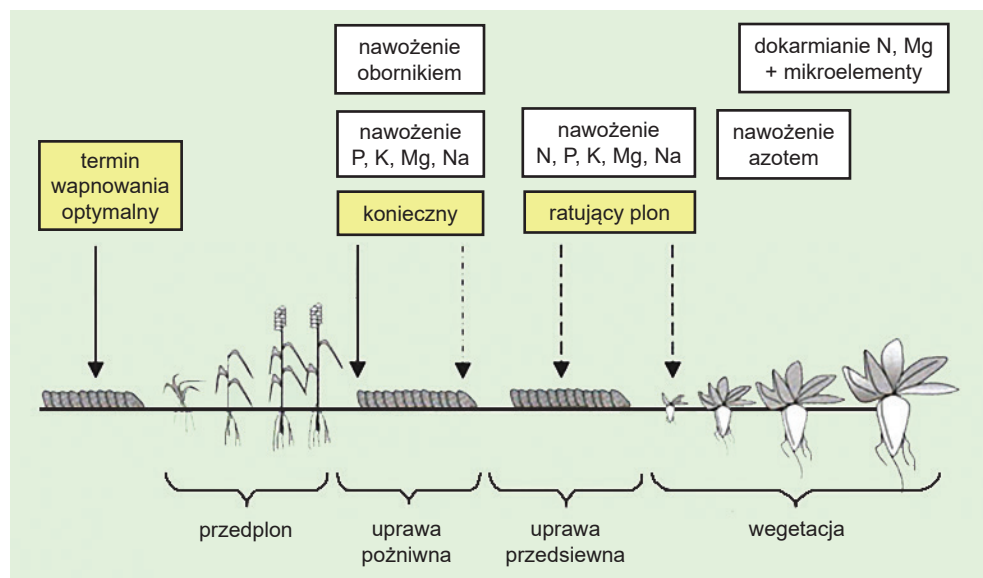
6. UPRAWA ROŚLIN OKOPOWYCH UWZGLĘDNIAJĄCA REGULACJĘ ODCZYNU GLEBY

6.1. Burak cukrowy

Pod względem agrochemicznym odpowiednie stanowisko zapewniają gleby o pH od 5,5 do 7,2. Odczyn zbyt niski ($\text{pH} < 5,5$) hamuje wzrost korzeni właściwych buraka cukrowego, które w pełni rozwoju plantacji penetrują glebę do 1,0 m, a w bardzo dobrych stanowiskach nawet głębiej. Zasadniczo optymalny zakres pH wynosi od 6,5 do 7,2. W tym zakresie odczynu rośliny efektywnie pobierają azot, fosfor, potas, magnez, wapń, miedź i cynk, a jednocześnie słabo mikroelementy (bor i mangan), jednakże procesy mineralizacji azotu organicznego przebiegają z dużą intensywnością. W warunkach zbyt niskiego odczynu ($\text{pH} < 5,5$) wskazane jest wapnowanie nawozami wapniowymi tlenkowymi (z dodatkiem magnezu).

Regulacja odczynu gleby – wapnowanie

Burak cukrowy jest gatunkiem wymagającym opracowania szczegółowego, rozłożonego na całe zmianowanie, programu regulacji odczynu gleby (rys. 6.1.1.).



Rys. 6.1.1. Ogólny schemat technologii nawożenia buraka cukrowego (Grzebisz 2009)

W opracowanej technologii nawożenia trzeba uwzględnić pozostałe zabiegi nawozowe prowadzone w taki sposób, aby nie wywołać zjawiska uwstecznienia fosforu, mikroelementów albo azotu. Celem wapnowania stanowiska przeznaczonego pod burak cukrowy jest regulacja warunków fizycznych i agrochemicznych gleby. Uregulowany odczyn gleby przeznaczonej pod zasiew buraka cukrowego przynosi szereg korzyści, tj.:

- zapewnia dobre ukorzenie się roślin, ułatwia zbiór;
- stwarza optymalne warunki do pobierania przez rośliny składników pokarmowych;
- dostarcza roślinie niezbędnego składnika, jakim jest wapń, ewentualnie magnez;
- poprawia zdrowotność roślin w okresie wegetacji;
- poprawia jakość technologiczną korzeni.

Uregulowane właściwości fizyczne gleby decydują o jej strukturze, a więc o możliwości wzrostu korzeni w glebie. Bez dobrze rozwiniętego systemu korzeniowego roślina nie jest w stanie pobrać dostatecznej ilości składników pokarmowych, przetrwać niekorzystne warunki pogodowe, jakimi są dotkliwe susze, czy też odprowadzić nadmiar wody do gleby w latach o dużych opadach.

Nawozy wapniowe nie tylko odkwaszają glebę, lecz są także nośnikami ważnych dla buraka cukrowego składników mineralnych, głównie wapnia oraz magnezu. Każda tona korzeni z odpowiednią masą liści akumuluje 1,5 kg wapnia i 0,85–1,0 kg magnezu. Składniki te są pobierane progresywnie przez cały okres wegetacji.

Wapnowanie jest bezwzględnie pierwszym zabiegiem agrotechnicznym w technologii uprawy buraka cukrowego w przypadku kiedy jest on uprawiany w kwaśnym stanowisku, o niskiej zasobności w podstawowe składniki mineralne (P, K, Mg). W takim przypadku rezygnacja z odkwaszenia gleby w zasadzie całkowicie eliminuje uprawę buraka. Wapnując glebę kwaśną pod przedplon, najczęściej pod zboże, wprowadza się do gleby dawkę składnika wynikającą z potrzeb wapnowania. Wielokrotne, głębokie wymieszanie nawozu z glebą pozwala uregulować odczyn nie tylko w wierzchniej, lecz także w głębszych jej warstwach, a tym samym uzyskać założone cele zabiegu. Dobór nawozu odgrywa rolę drugorzędną, lecz wapnowanie przeprowadzone w tym właśnie terminie agrotechnicznym pozwala na stosowanie nawozów węglanowych, wolno działających. Przystępując do regulacji odczynu dopiero po zbiorze przedplonu, a więc bezpośrednio pod burak, czyli w okresie regulacji podstawowych wskaźników agrochemicznych, trzeba wykluczyć na pewien czas prowadzenie pozostałych zabiegów nawozowych. Stosowanie obornika, czy też nawozów fosforowych, powinno być wykonane po upływie co najmniej 6 tygodni, pod warunkiem wystąpienia optymalnych warunków wilgotnościowych (opadów). Przy małych opadach letnich, a nawet suszy, zabiegi te trzeba opóźnić, a glebę

przed każdym kolejnym zabiegiem nawozowym głęboko wymieszać. Wapnowanie po zbiorze przedplonu wymaga zastosowania nawozu wapniowego tlenkowego, a w glebie ubogiej w magnez – nawozu wapniowo-magnezowego, także tlenkowego. W stanowiskach bardzo kwaśnych dawkę wapna warto zmniejszyć w stosunku do wielkości wynikającej z potrzeb wapnowania do $\frac{1}{2}$ lub $\frac{2}{3}$ dawki zalecanej. W ten sposób można częściowo uzyskać cel podstawowy, to znaczy podnieść pH gleby do zakresu lekko kwaśnego i jednocześnie nie doprowadzić do lokalnie nadmiernego wzrostu odczynu, który zakłóci pobieranie niektórych makroelementów (P, Mg), przede wszystkim mikrośladników. Warunkiem koniecznym uzyskania założonego celu jest stosowanie wapna bezpośrednio na ściernisko, a następnie dokładne, głębokie, wielokrotne, aż do orki zimowej, mieszanie nawozu z glebą.

Wapnowanie wiosną przeprowadza się tylko w stanowisku o odczynie bardzo kwaśnym, a dawkę wapna należy zdecydowanie zmniejszyć, nawet do $\frac{1}{2}$ w stosunku do wynikającej z potrzeb wapnowania (tab. 6.1.1).

Tabela 6.1.1. Przedział potrzeb wapnowania i dawki wapna ($t \text{ CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$)

Kategoria agronomiczna gleby	Odczyn i przedział potrzeb wapnowania			
	konieczne		potrzebne	
	CaO	CaO + MgO	CaO	CaO + MgO
Lekka	2,5*	1,5*	2,5	1,0*
Średnia	3,0*	2,0	3,0	1,5

*tzw. dawki obniżone, lecz wskazane w szczególnych warunkach agrotechnicznych

Źródło: Grzebisz 2011

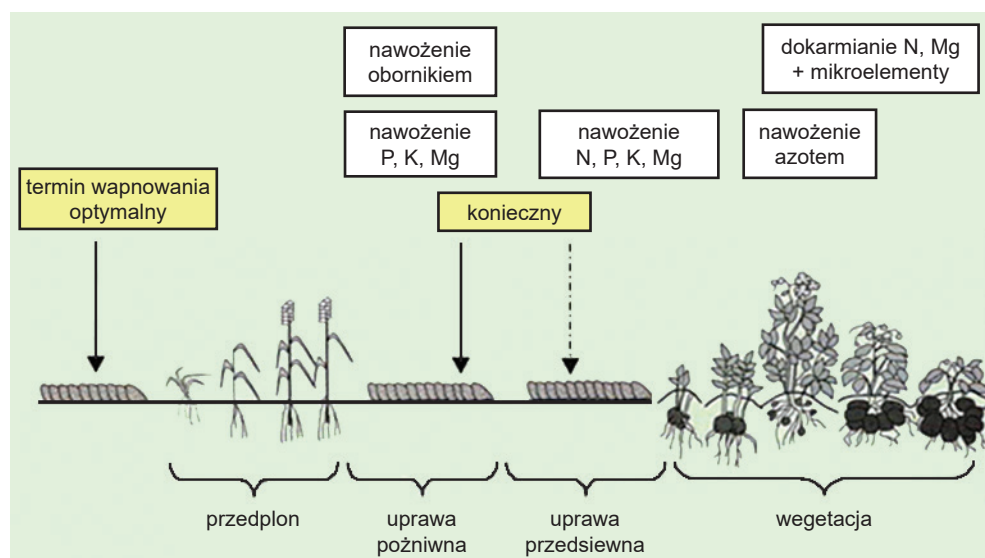
Wybór nawozu wapniowego zależy od terminu wykonania zabiegu. W warunkach dostatecznie suchej lub zmrożonej gleby (niebezpieczeństwo zniszczenia struktury gleby – duża waga sprzętu i nawozu) wskazane są nawozy węglanowo-tlenkowe (z magnezem), a nawet tlenkowe. Nawozy te po rozmarznięciu gleby należy bezwzględnie wymieszać na głębokość 15–20 cm. W późniejszym terminie wapnowania, lecz co najmniej na trzy tygodnie przed siewem, jedynym rozwiązaniem są nawozy węglanowe, ze wskazaniem na kredę. Mieszając nawóz z glebą, zwiększa się tzw. powierzchnię kontaktu, co zapewnia szybkie, ale tylko powierzchniowe odkwaszenie. Wapnowanie wiosną, wiążące się z koniecznością wymieszania nawozu z glebą, niesie za sobą duże ryzyko produkcyjne. Każda wiosenna susza (kwiecień, maj) może skutecznie pogorszyć wschody buraka i tym samym zmniejszyć obsadę.

6.2. Ziemiak

Regulacja odczynu gleby – wapnowanie

W powszechnym przekonaniu producentów ziemniak nie wymaga wapnowania, gdyż bardzo dobrze znosi kwaśny odczyn gleby. Korzenie ziemniaka nie zakwaszają ryzosfery i z tego powodu roślina ma duże trudności w pobieraniu składników pokarmowych, a zwłaszcza mikrośladników, w tym manganu. Pierwiastek ten pełni w ziemniaku bardzo ważną funkcję, gdyż ogranicza porażenie bulw przez parcha zwykłego ziemniaka (*Streptomyces scabies*). Z tej przyczyny ziemniak toleruje gleby kwaśne, a nawet bardzo kwaśne (do pH 4,0), lecz najlepiej plonuje na glebach o odczynie lekko kwaśnym, zwłaszcza przy pH mniejszym od 6,0. Taki odczyn warunkuje dobre odżywienie roślin fosforem, a jednocześnie zapewnia dostateczne zapotrzebienie w mangan. W glebach o pH < 4,5 narasta toksyczność glinu, który silnie ogranicza korzystny efekt działania manganu.

Gleby silnie zakwaszone trzeba wapnować, lecz w taki sposób, aby pokonać niebezpieczną barierę, jaką jest właśnie pH 4,0, a jednocześnie nie przekroczyć poziomu pH 6,0. Terminy skutecznego wapnowania w uprawie ziemniaka na tle pozostałych zabiegów uprawowych i nawozowych przedstawiono na rysunku 6.2.1. Optymalny termin wapnowania przypada pod przedplon, którym z reguły jest zboże. W sytuacji niezbędności wykonania zabiegu po zbiorze przedplonu należy tak wyznaczyć termin, aby wyeliminować bliską kalendarzowo obecność na polu trzech składników nawozowych, a mianowicie wapna, obornika i nawozów fosforowych.



Rys. 6.2.1. Zabiegi nawozowe w technologii uprawy i nawożenia ziemniaka (Grzebisz 2011)

W związku z tym, że większość rolników uprawia ziemniaka na glebach lekkich, a nawet bardzo lekkich, wskazane jest, poza terminem optymalnym, zastosowanie niewielkich, obniżonych w stosunku do ogólnych zasad, dawek nawozów węglanowych, w tym kredy (tab. 6.2.1). Wapno traktujemy nie tylko jako czynnik zmniejszający toksyczność glinu, lecz także jako źródło wapnia. Wskazany, wręcz komplementarnym elementem systemu nawożenia ziemniaka jest jednocześnie z wapnowaniem stosowanie kizerytu jako źródła magnezu. Ziemniak uprawiany na glebach lekkich i bardzo lekkich jest bardzo wrażliwy na niedobór tego składnika. Zabieg ten przeprowadza się w okresie przygotowania gleby do siewu przedplonu, a nawóz dobrze miesza się z glebą, co najmniej na głębokość sadzenia ziemniaka.

Tabela 6.2.1. Obniżona, jednorazowa dawka wapna nawozowego pod uprawę ziemniaka (t CaO·ha⁻¹)

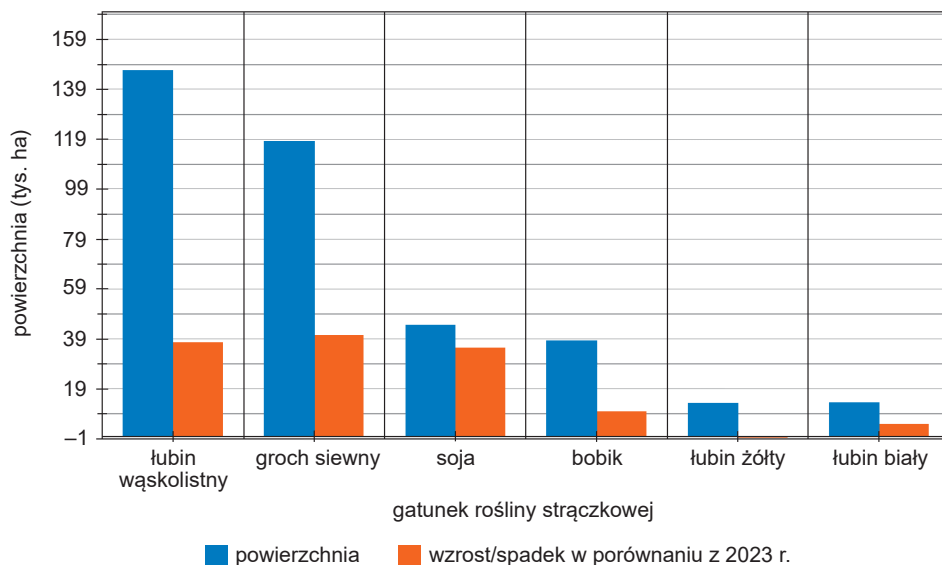
Kategoria agronomiczna gleby	Przedział potrzeb wapnowania		
	konieczne	potrzebne	wskazane
Bardzo lekka	1,5	1,0	0,5
Lekka	2,0	1,5	1,0
Średnia	2,5	2,0	1,5

Źródło: Grzebisz 2011

7. UPRAWA ROŚLIN PASTEWNYCH UWZGLĘDNIAJĄCA REGULACJĘ ODCZYNU GLEBY

Rośliny pastewne to we współczesnym rolnictwie ważna grupa roślin uprawnych składająca się ze zróżnicowanych pod względem wymagań glebowo-klimatycznych gatunków roślin bobowatych (drobnonasiennych i grubonasiennych) oraz ich mieszanek ze zbożami/trawami i kukurydzy. Oprócz ich znaczenia w produkcji wartościowej paszy dla zwierząt mają one wpływ na glebę i środowisko. Uprawa roślin pastewnych korzystnie wpływa na strukturę gleby i zawartość próchnicy, zapobiega erozji oraz utrzymuje równowagę składników pokarmowych w glebie. Zdolność roślin bobowatych do biologicznego wiązania azotu atmosferycznego (N_2) powoduje, że same w całości lub w znacznej części zaopatrują się w azot i pewną jego ilość pozostawiają w glebie. Powoduje to mniejsze potrzeby nawożenia azotem zarówno roślin z tej grupy, jak i roślin następczych. W efekcie zmniejszają się koszty ich uprawy oraz maleje zanieczyszczenie środowiska nawozami azotowymi. Włączenie do zmianowań niektórych mieszanek zbożowo-bobowatych łagodzi ujemne skutki uprawy zbóż po sobie i pozwala na wyprodukowanie paszy treściwej o większej zawartości białka, wartościowej zielonki lub zielonego nawozu. Szczególnie zalecana jest uprawa owsa z roślinami strączkowymi (np. grochem) jako korzystny przedplon dla pszenicy ozimej. Wskazania środowiskowo-produkcyjne tego typu zasiewów dotyczą głównie gleb słabszych i średnich, o mniejszej zasobności w składniki pokarmowe i niższym odczynie gleby.

W ostatnich latach największą powierzchnię zajmuje w Polsce łubin wąskolistny (157 tys. ha), a następnie groch siewny (97 tys. ha). Dane statystyczne wskazują na znaczny wzrost w naszym kraju powierzchni soi, której uprawa zajmowała w roku 2022 ponad 4 tys. ha (rys. 7.1). Powierzchnia uprawy mieszanek roślin bobowatych ze zbożami jest od wielu lat stała i wynosi około 40 tys. ha. Znaczną powierzchnię użytków rolnych zajmuje w Polsce kukurydza, która w roku 2024 była uprawiana na obszarze 1 829 tys. ha, w tym kukurydza zwyczajna zajmowała blisko 1 814 tys. ha (<https://kukurydza.info.pl/powierzchnia-uprawy-kukurydzy-w-polsce-w-2024-r/>).

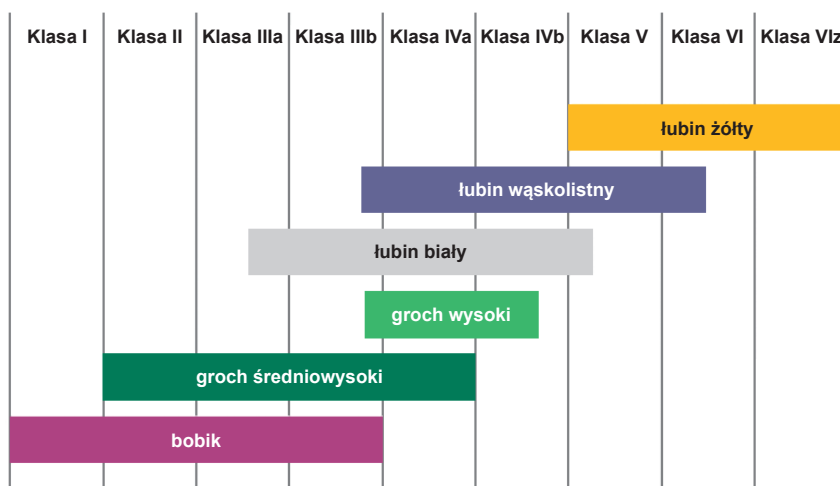


Rys. 7.1. Powierzchnia zasiewów roślin bobowatych na nasiona w 2024 roku (opracowanie własne na podstawie danych ARiMR)

7.1. Wymagania glebowe roślin pastewnych

Uprawiane w Polsce rośliny pastewne są bardzo zróżnicowane pod względem warunków uprawy, co przejawia się między innymi w specyficznych wymaganiach względem kompleksu glebowego i powiązanego z nim odczynu gleby (rys. 7.1.1). Choć większość z nich najlepiej rozwija się na glebach o odczynie lekko kwaśnym do obojętnego, to niektóre mogą być uprawiane na glebach słabszych, o niższym odczynie. Dobry kompleks glebowy jest ważny dla roślin głęboko korzeniących się i wymagających gleb o dobrej strukturze, ze stałym dostępem do wody glebowej oraz składników pokarmowych. Woda stanowi ważny czynnik plonotwórczy w ostatnich latach, kiedy występują wiosenne i letnie okresy braku opadów i dokuczliwe susze.

Odczynu obojętnego, a nawet lekko zasadowego, wymagają gatunki preferujące gleby zwięźlejsze (tj. groch, bobik, lucerna), a rośliny uprawiane na glebach lekkich stosunkowo dobrze znoszą odczyn kwaśny (łubin i seradela), chociaż lepszym stanowiskiem dla nich będzie gleba o odczynie lekko kwaśnym (tab. 7.1.1).



Rys. 7.1.1. Wymagania glebowe dla gatunków roślin strączkowych według klas bonitacyjnych (<https://www.hrsmolice.pl/pl/straczkowe/artykulystraczkowe/wymagania-glebowe-roslin-straczkowych>)

Tabela 7.1.1. Wymagania glebowe wybranych gatunków roślin strączkowych

Roślina	Klasa bonitacyjna	Wymagania glebowe	Odczyn gleby
Bobik	II–III b	gleby zwięzłe	zbliżony do obojętnego
Groch siewny	I–IV a	gleby o dużej zawartości próchnicy, zasobnych w wapń	obojętny
Peluszka	III b–IV b	gleby o wysokiej kulturze	obojętny
Łubin żółty	V–VI	gleby o dobrych właściwościach wilgotnościowych, nie lubi gleb świeżo zwapnowanych	lekko kwaśny
Łubin wąskolistny	IV a–V	gleby przepuszczalne	lekko kwaśny
Łubin biały	III a–IV b	gleby zasobne w składniki pokarmowe, dobrze zatrzymujące wodę	zbliżony do obojętnego
Wyka siewna	II–IV a	gleby żyzne, zasobne w składniki pokarmowe	zasadowy lub obojętny
Soja	II–III b	gleby żyzne, w dobrej kulturze rolnej	zbliżony do obojętnego

Źródło: <https://polifoska.pl/porady/216-o-sukcesie-w-uprawie-straczkowych-decyduja-pierwsze-kroki>

7.2. Wpływ niskiego odczynu gleby na właściwości gleby i rozwój roślin

Kwaśny odczyn gleby powoduje wiele niekorzystnych zmian w środowisku wzrostu roślin pastewnych. W pierwszej kolejności sprzyja wymywaniu makroelementów, tj. K, Ca i Mg, co wpływa na obniżenie żyzności gleby i jej funkcji produkcyjnych (tab. 7.2.1).

Tabela 7.2.1. Wpływ zakwaszenia na zawartość glinu wymiennego i kationów zasadowych w glebach lekkich

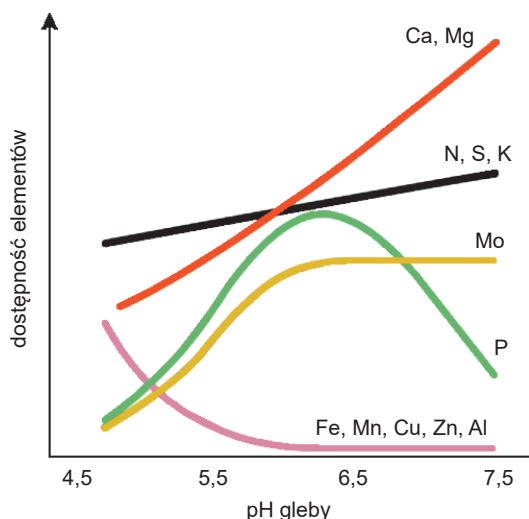
Przedział pH _{KCl}	Kwasowość hydrolytyczna	Kwasowość wymienna	Zawartość kationów wymiennych			
	mmol H ⁺ /kg		Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
			mmol (+)/kg			
<3,8	52,3	14,3	8,32	5,15	1,12	1,46
3,8–4,0	48,4	9,8	3,84	8,42	1,46	1,50
4,0–4,2	44,2	6,2	1,73	17,51	1,38	1,48
4,2–4,4	36,8	4,4	1,18	18,93	1,76	2,12
4,4–4,6	33,2	3,2	0,83	21,44	2,13	2,38
4,6–4,8	31,4	2,1	0,72	25,82	1,64	2,40
4,8–5,0	28,3	1,6	0,40	31,28	4,41	3,80
5,0–5,2	25,8	0,8	0,21	33,14	4,62	3,20
>5,2	24,7	0,5	0,00	35,60	4,81	4,10

Źródło: Filipek i Dechnik 1995

W warunkach kwaśnego odczynu gleby wymywaniu ulega także azot niepobrany przez rośliny (głównie N-azotanowy), który jest przenoszony do wód glebowych, a następnie do jezior i rzek, powodując ich eutrofizację. Innymi środowiskowymi kosztami niskiego odczynu gleby są emisje do atmosfery zbyt dużych ilości związków azotu, zwłaszcza N₂O, N₂, NO_x i NH₄.

Zakwaszenie sprzyja zwiększeniu dostępności toksycznych form metali ciężkich, w tym głównie glinu i manganu (tab. 7.2.1, rys. 7.2.1). W tej sytuacji bardzo ważnym zagadnieniem jest stosowanie odpowiedniej formy nawozu azotowego. Forma saletrzana zmniejsza toksyczne działanie glinu, a stosowanie formy amonowej zwiększa jego rozpuszczalność i niekorzystny wpływ na rośliny. Rośliny uprawiane na glebach silnie zakwaszonych wykazują niską zawartość fosforu, co wynika z jego słabszego przyswajania w tych warunkach oraz wewnątrztkankowego wytrącania w korzeniach i braku transportu do części nadziemnych. W efekcie części nadziemne wykazują jego niedobór. Glin w małych ilościach wzmacnia pobieranie potasu, ale wyższe jego stężenia w glebie ograniczają rozwój i deformują system korzeniowy, co prowadzi do ograniczenia pobierania zarówno potasu, jak i innych kationów.

Z kolei magnez jest łatwo wypierany z kompleksu sorpcyjnego gleby silnie zakwaszonej przez jony wodoru oraz glinu i przemieszczany do warstw głębszych. Symptomy niedoboru magnezu widoczne są wówczas w postaci chlorozy i najczęściej na roślinach młodych, o krótszym systemie korzeniowym.



Rys. 7.2.1. Wpływ odczynu gleby na dostępność składników pokarmowych dla roślin (<https://www.agric.wa.gov.au/soil-acidity/effects-soil-acidity?page=0%2C1>)

Rośliny pastewne, w tym głównie bobowate, wykazują różną wrażliwość na odczyn gleby (tab. 7.2.2). Do gatunków wrażliwych na zakwaszenie należy kukurydza i soja (fot. 7.2.1), które reagują znaczną redukcją części nadziemnej i korzeniowej roślin. Rośliny bobowate nie wytwarzają w tych warunkach brodawek korzeniowych.

Tabela 7.2.2. Wrażliwość roślin bobowatych i kukurydzy na odczyn gleby

Gatunek rośliny uprawnej	Odczyn optymalny
Bobowate grubonasienne	
Bobik	6,0–7,5***
Groch	6,0–7,5***
Łubin żółty	4,0–6,0**
Soja	6,0–7,0*
Groch polny, peluszka	5,0–6,5
Łubin biały	6,0–7,5

cd. tabela 7.2.2

Gatunek rośliny uprawnej	Odczyn optymalny
Bobowate drobnonasienne	
Seradela	4,5–6,5**
Lucerna	6,0–7,5***
Koniczyna czerwona	5,5–7,0
Koniczyna biała	5,0–6,5
Zboża	
Kukurydza	5,5–7,0*

*rośliny bardzo wrażliwe na zakwaszenie

**rośliny tolerujące niski odczyn gleby

***rośliny nietolerujące niskiego odczynu gleby

Źródło: <https://rolnictwozrownowazone.pl/rolnictwo-zrownowazone/przewodnik-rolnictwa-zrownowazonego/zarzadzanie-gleba/ph-gleby/>

Fot. 7.2.1. Zmiana części nadziemnej i systemu korzeniowego soi w warunkach obniżania się odczynu gleby z poziomu pH 5,1 (po lewo) do pH 4,5 (po prawo) (<https://www.ndsu.edu/agriculture/extension/publications/what-soil-acidity>)

Poszczególne gatunki roślin bobowatych wykazują również zróżnicowaną wrażliwość na nadmiar glinu i manganu, która pojawia się w glebach zakwaszonych (tab. 7.2.3).

Tabela 7.2.3. Podział roślin bobowatych ze względu na wrażliwość na nadmiar glinu (Al^{3+}) i manganu (Mn^{2+})

Klasa reakcji	Metal ciężki	
	glin (Al^{3+})	mangan (Mn^{2+})
Bardzo wrażliwe	bobik, lucerna	lucerna
Wrażliwe	koniczyna czerwona, groch	koniczyna biała
Tolerancyjne	koniczyna biała, łubin biały	soja
Bardzo tolerancyjne	łubin żółty, seradela, groch polny	

Źródło: Barłóg 2024

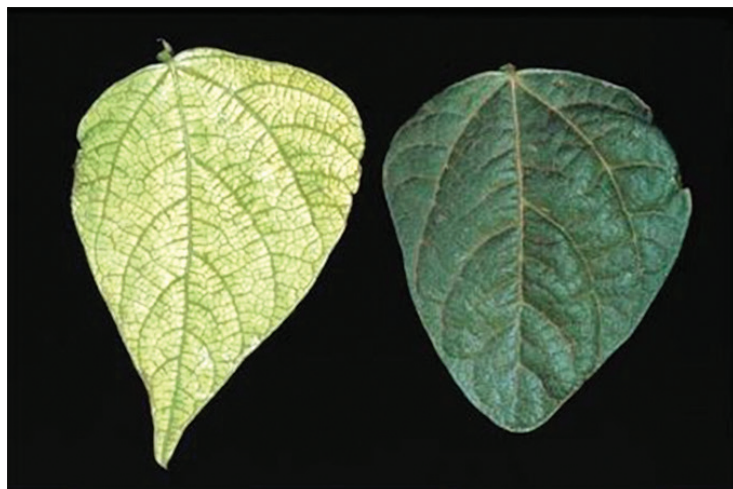
Nadmiar glinu pojawiający się w glebach zakwaszonych powoduje zahamowanie rozwoju roślin, co objawia się mniejszą masą części nadziemnej i korzeni (fot. 7.2.2). Rośliny wykazują zaburzenia morfologiczno-anatomiczne podobne do występujących w warunkach niedoboru składników pokarmowych, w tym głównie fosforu, co obserwuje się jako purpurowe zabarwienie liści i łodygi. Rośliny bobowate nie zawiązują wówczas brodawek korzeniowych.



Fot. 7.2.2. Objawy toksyczności glinu w warunkach niskiego odczynu gleby (po lewo – pH gleby optymalne, po prawej – pH poniżej 5,5) (<https://www.agric.wa.gov.au/soil-acidity/effects-soil-acidity>)

W warunkach kwaśnego odczynu gleby rośliny bobowate odczuwają deficyt molibdeny, który jest niezbędny dla procesu wiązania azotu atmosferycznego. Pierwotne symptomy niedoboru tego mikroelementu wiążą się z deformacją blaszki liściowej, natomiast wtórne objawy to bladozielone zabarwienie młodszych liści, wynikające z braku chlorofilu. Dochodzi do zredukowania powierzchni blaszki li-

ściowej, która przybiera nieregularny kształt. Liście wybarwiają się na jasnozielono, brzegi i końce czerwienieją i zasychają (fot. 7.2.3 i 7.2.4). Rośliny te nie są w stanie prowadzić procesu fotosyntezy, niezbędnego dla wytworzenia asymilatów i przyrostu masy.



Fot. 7.2.3. Objawy deficytu molibdenu w liściach fasoli (po lewo) w porównaniu ze zdrowym liściem (po prawo) (<https://www.soilquality.org.au/factsheets/molybdenum-nsw>)



Fot. 7.2.4. Objawy deficytu molibdenu na roślinach lucerny (<https://www.soilquality.org.au/factsheets/molybdenum-nsw>)

7.3. Wpływ odczynu gleby na symbiozę roślin bobowatych z bakteriami wiążącymi azot atmosferyczny

Kwaśny odczyn gleby powoduje zmiany w proporcjach mikroorganizmów, powodując zwiększenie zespołu grzybów w stosunku do bakterii. Również bakterie wiążące wolny azot z powietrza, w symbiozie z różnymi roślinami bobowatymi, wymagają specyficznego dla siebie odczynu gleby (tab. 7.3.1). Tylko w tych warunkach mogą przetrwać, namnożyć się i nawiązać efektywną symbiozę.






Tabela 7.3.1. Optymalny odczyn gleby dla rozwoju bakterii wiążących wolny azot

Drobnoustroje symbiotyczne	Optymalny odczyn pH	Dolna granica tolerancji pH
Lucerny	6,8–7,2	4,9–5,0
Koniczyny	6,8–7,2	4,2–4,7
Grochu	6,5–7,0	4,0–4,5
Wyki	6,5–7,0	4,0–4,5
Łubinu	5,5–6,5	3,2–3,5
Seradeli	5,5–6,5	3,2–3,5

Źródło: Hołubowicz-Kliza i in. 2021 (zmodyfikowane)

Niskie pH warstwy uprawnej wpływa na dostępność składników pokarmowych i osłabia proces tworzenia brodawek korzeniowych oraz wiązania azotu w pastewnych roślinach bobowatych. Problemy te są niwelowane, jeśli odczyn gleby jest utrzymywany powyżej pH 5,5 (rys. 7.3.1).

Gatunek	Odczyn gleby						
	4,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
Łubin żółty, seradela	Yellow	Light Green	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Light Green	Yellow
Łubin wąskolistny, groch polny	Yellow	Light Green	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Light Green
Groch siewny, wyka siewna, bobik	Orange	Light Green	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Light Green
Łubin biały, soja, wyka kosmata	Red	Light Green	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Dark Green
Fasola	Red	Orange	Yellow	Light Green	Dark Green	Dark Green	Dark Green
Lucerna, nostryk, esparceta	Red	Orange	Yellow	Light Green	Dark Green	Dark Green	Dark Green

	Brak modulacji		Prawie większość roślin posiada małe czerwone brodawki
	Tylko niektóre rośliny mają bardzo małe brodawki		Wszystkie rośliny zawierają brodawki, w tym 50% dużych
	Wszystkie rośliny zawierają brodawki, w tym ponad 50% dużych		

Rys. 7.3.1. Wpływ odczynu gleby na zawiązywanie brodawek przez rośliny strączkowe (Grzebisz 2011 za: <https://nawozy.pl/strefa-wiedzy/ekspert-radzi/straczkowe-same-sobie-nie-poradza/>)

7.4. Potrzeby wapnowania roślin bobowatych

Właściwy odczyn gleby decyduje o prawidłowej symbiozie roślin bobowatych z bakteriami nitryfikacyjnymi:

- **bobik, groch i wyka jara** wymagają obojętnego odczynu gleby, jeśli więc zachodzi potrzeba odkwaszenia stanowiska, wówczas należy po zbiorze przedplonu zastosować nawozy wapniowe o wysokiej reaktywności, jak np. wapno węglanowe;
- **koniczyna czerwona** wymaga gleby o pH 6–7, więc gleby zbyt kwaśne należy zwapnować, a wysiew tlenku wapnia (CaO) należy wykonać pod przedplon;
- **lubin wąskolistny i żółty** dobrze znoszą odczyn lekko kwaśny, a wręcz ujemnie reagują na odczyn zasadowy.

Zastosowane nawozy wapniowe należy dokładnie wymieszać z glebą. Częstym błędem po wywiezieniu i rozrzuceniu nawozów wapniowych jest ich głębokie przyoranie. Wówczas wapno zalega na głębokości 15–20 cm. Natomiast świeżo wyorana warstwa gleby nadal wykazuje właściwości kwaśne. W takich niekorzystnych warunkach młode i słabo ukorzenione rośliny wyraźnie reagują na niski odczyn gleby poprzez zahamowanie wzrostu, odbarwienia liści – liścieni, a nawet zamieranie siewek (bobik, groch).

7.5. Wrażliwość roślin na wapnowanie

Rośliny różnią się między sobą również wrażliwością na wapnowanie. Do gatunków najbardziej wrażliwych na wapnowanie należy kukurydza, ale jej reakcja na ten zabieg zależy od aktualnego odczynu gleby. W przypadku gleb bardzo kwaśnych, o pH do 4,5, rośliny mało wrażliwe na zakwaszenie gleby wykazują niską reakcję na wapnowanie, natomiast wrażliwe w bardzo dużym stopniu reagują na ten zabieg. W zmianowaniu z doбором roślin bardzo wrażliwych i wrażliwych na odczyn gleby nawozy wapniowe można stosować praktycznie pod każdą roślinę, najczęściej jednak nawozy do odkwaszania gleb aplikuje się bezpośrednio pod rośliny najbardziej wrażliwe, jak np. lucerna. Najlepszą praktyką jest jednak stosowanie nawozów wapniowych pod przedplony tych roślin.

7.6. Wpływ odczynu gleby na plonowanie roślin pastewnych

W uprawie kukurydzy, lucerny czy koniczyny stwierdza się około 25% zwiększenie plonu pod wpływem wapnowania, natomiast lubin żółty i seradela reagują na wapnowanie gleb najczęściej około 7% zwiększeniem plonu (tab. 7.6.1).

Tabela 7.6.1. Wpływ odczynu gleby na plonowanie wybranych gatunków roślin uprawnych

Gatunek rośliny	Plon względny w zależności od pH gleby				
	4,7	5,0	5,7	6,8	7,5
Seradela	77	93	100	98	95
Kukurydza	2	9	42	100	100
Koniczyna czerwona	12	21	53	98	100

Źródło: <https://polcalc.pl/blog/wplyw-wapnia-i-wapnowania-na-plonowanie-roslin>

7.7. Wpływ właściwego pH gleby na wzrost, rozwój i plonowanie roślin pastewnych – charakterystyka gatunków

Kukurydza

Kukurydza wyróżnia się największą wydajnością spośród roślin zbożowych. Dla wytworzenia dużego plonu ziarna produkuje dużą ilość biomasy, co stwarza wysokie zapotrzebowanie na składniki pokarmowe. Roślina ta ma średnie wymagania glebowe, ponieważ może być uprawiana na glebach żyznych i lżejszych. Warunkiem powodzenia uprawy są odpowiednie opady oraz odczyn gleby warunkujący wykorzystanie składników pokarmowych. Kukurydza dobrze radzi sobie na glebach lekko kwaśnych (pH > 5,5), ale źle znosi odczyn kwaśny o pH poniżej 5,0 – wtedy należy się spodziewać obniżki plonu. Przyjmuje się, że optymalne pH dla kukurydzy obejmuje zakres 6,0–6,5, chociaż najbardziej korzystny jest odczyn obojętny.

Wysokie potrzeby pokarmowe wymagają pobierania dużych dawek makro- i mikroskładników pokarmowych, które zmniejszają się w warunkach gleb kwaśnych. Następuje wówczas zmniejszenie dostępnego fosforu i magnezu oraz pojawiają się trudności w pobieraniu potasu, co wynika z toksycznego działania glinu przy niskich poziomach odczynu gleby. Problem polega z jednej strony na uwstecznianiu kationów (magnezu, potasu), a z drugiej na hamowaniu rozwoju systemu korzeniowego, przez który roślina pobiera wspomniane makroelementy. W tych warunkach odczynu zaleca się wykonanie zabiegu wapnowania najpóźniej po zbiorze przedplonu. Fosfor jest makroskładnikiem, którego dostępność w glebie jest ściśle powiązana z jej odczynem. To pierwiastek, który obok azotu i potasu najbardziej wpływa na plonowanie kukurydzy. Jest szczególnie istotny w początkowej fazie rozwoju systemu korzeniowego, kiedy roślina przestaje korzystać z substancji odżywczych z zarodka i przechodzi na odżywianie korzeniowe. Ten krytyczny moment zazwyczaj zachodzi między 4. a 6. liściem.

Badania prowadzone z kukurydzą wykazały, że czynnikiem, który znacznie wpływał na plonowanie roślin był odczyn gleby. Zwiększenie odczynu gleby z pH 4 do pH 5 i pH 6 powodowało przyrost plonów kukurydzy średnio o 74 i 124%. Wzrost plonu przy wzrastającym odczynie gleby był najmniejszy na gle-

bie najbardziej zasobnej w próchnicę (o 105%), a największy na glebie najuboższej w substancję organiczną (o 144%), co wynika z jej większych właściwości buforowych. Zakwaszenie górnej warstwy gleby nastąpiło w wyniku corocznego stosowania uprawy zerowej. Po 10 latach siewu bezpośredniego stwierdzano spadek pH o 1,5–2,5 jednostki (Książak i in. 2018).

Groch

Dominującą pozycję wśród roślin strączkowych zajmuje w Polsce groch siewny, a jego powierzchnia w roku 2023 wynosiła 118,37 tys. ha. Jest to cenna roślina wysokobiałkowa, która charakteryzuje się dużą różnorodnością odmian i ich przydatnością do kierunku uprawy. Wyróżnia go także możliwość wielokierunkowego wykorzystania, np. na cele jadalne, na paszę, jako suche nasiona i na zielonkę. Zgodnie z zaleceniami IHAR do uprawy grochu jadalnego i ogólnoużytkowego najbardziej odpowiednie są gleby kompleksu pszennego i żytniego bardzo dobrego, w dobrej strukturze, o uregulowanych stosunkach powietrzno-wodnych. Pod groch pastewny nadają się także gleby kompleksu żytniego dobrego oraz zbożowo-pastewnego mocnego i słabego.

Groch ma duże wymagania odnośnie odczynu gleby i dostępności jonów wapnia w roztworze glebowym. Gleba pod jego uprawę powinna charakteryzować się odczynem zbliżonym do obojętnego, której pH wynosi 6,6–7,2. W przypadku jego uprawy na glebach o odczynie kwaśnym (pH 4,6–5,5) następuje brak wytwarzania włósników i zahamowanie wzrostu systemu korzeniowego, co jest w tych warunkach efektem działania wolnych jonów glinu i manganu. Dodatkowo nie zachodzi proces biologicznego wiązania azotu z atmosfery, ponieważ warunki te nie sprzyjają rozwojowi bakterii brodawkowych (*Rhizobium leguminosarum* bv. *viceae*), a to w efekcie prowadzi do niedoboru azotu dla rosnących roślin (Kozak 2021).

Rekomendowane dawki CaO różnią się w zależności od kompleksu glebowego i potrzeb wapnowania od 1 do 4,5 t·ha⁻¹. Zaleca się, aby wapnowanie wykonać bezpośrednio po zbiorze przedplonu lub wcześniej, pod inne rośliny w zmianowaniu.

W badaniach wykazano, że niektóre właściwości gleby mają wpływ na wielkość cech biometrycznych grochu, np. wzrost odczynu gleby powodował zwiększenie obsady roślin i długości ich pędu (Jaskólska i in. 2011).

Soja

Soja jest uprawiana w Polsce na powierzchni ponad 44 tys. ha i zajmuje pod tym względem trzecie miejsce po łubinie wąskolistnym i grochu siewnym. Roślina ta wymaga do uprawy gleb żyznych, zasobnych w składniki pokarmowe, ciepłych, będących w wysokiej kulturze i o dobrych właściwościach fizycznych. Najlepsze pod uprawę soi są gleby kompleksu pszennego bardzo dobrego, pszennego dobrego i pszennego wadliwego (klasy bonitacyjne: II–III b), o odczynie obojętnym (pH_{KCL}

6,6–7,2). Roślina ta nie toleruje gleby kwaśnej, która negatywnie wpływa na jej wzrost i plonowanie. Wpływ kwaśnego odczynu gleby w uprawie soi rozpoczyna się na etapie kiełkowania, bowiem, jak wykazano, w tych warunkach kiełkujące nasiona wykazują najniższą zdolność kiełkowania (średnio dla odmian 87%) i występuje największy udział nasion kiełkujących nienormalnie (średnio 10,5%). Z kolei przy pH 6,5 stwierdzono najwyższą zdolność kiełkowania na poziomie 92%, która jest połączona z najmniejszym odsetkiem nasion kiełkujących nienormalnie (średnio 7,0%) (tab. 7.7.1).

Tabela 7.7.1. Zdolność kiełkowania i odsetek nasion soi kiełkujących nienormalnie w zależności od pH gleby

Odczyn gleby (pH)	Zdolność kiełkowania (%)	Odsetek nasion kiełkujących nienormalnie (%)
5,0	87,0 d*	11,0 a
5,5	88,0 cd	10,0 ab
6,0	90,0 b	8,0 cd
6,5	92,0 a	7,0 d
7,0	89,0 c	9,0 bc

*wartości oznaczone różnymi literami różnią się istotnie przy $p \leq 0,05$

Źródło: Rymuza i Radzka 2021 (zmodyfikowane)

Kwestie tę potwierdzają wyniki badań Luboińskiego i Markowicza (2017) wskazujące, że uprawa soi na glebie o odczynie obojętnym (pH 6,6–6,8) jest bardziej opłacalna niż na glebie o odczynie kwaśnym (pH 4,7–5,0). Warunki te sprzyjają symbiozie soi z bakteriami *Bradyrhizobium japonicum*, co przyczynia się do wytworzenia większej liczby brodawek korzeniowych (średnio 25 sztuk na roślinę). Ponadto wyższy odczyn ma wpływ na dostępność i pobieranie z gleby fosforu i potasu, co bezpośrednio oddziałuje na symbiozę, lepszy rozwój systemu korzeniowego i części nadziemnej soi, zaopatrzenie roślin w azot atmosferyczny i lepsze plonowanie (Luboiński i Markowicz 2017).

Bobik

Gatunek ten ma duże wymagania glebowe i najlepiej plonuje na glebach związłych, żyznych, dobrze utrzymujących wilgoć, o wysokiej kulturze, zaliczanych do kompleksu pszennego bardzo dobrego i dobrego (klasa I–IIIb). Należą do nich czarnoziemy, czarne ziemie, gleby brunatne i płowe wytworzone z ilów oraz gliny zwałowej, mady średnie i ciężkie. W warunkach dobrego uwilgotnienia i odpowiedniej kultury roli można uzyskać wysoki poziom plonów również na glebach klasy IVa. Warunki glebowe wpływają na efektywność nawożenia oraz wzrost, rozwój i plonowanie bobiku, co wiąże się z zasobnością gleby w składniki pokarmowe. Naj-

bardziej plonotwórcze gleby kompleksu pszennego bardzo dobrego charakteryzują się wysoką zawartością fosforu, potasu i magnezu. Szczególnie korzystnie na plonowanie bobiku wpływa wysoka zasobność gleby w fosfor powiązana z wyższym odczynem.

Bobik wymaga gleb związlejszych, strukturalnych i próchnicznych, o odczynie obojętnym i zasadowym, a nie znosi mocno zakwaszonych (optymalne pH wynosi 6,8–7,2). Kwestia odpowiedniego pH wiąże się ze zdolnością bobiku do nawiązania symbiozy z bakteriami brodawkowymi *Rhizobium leguminosarum*. Wyższe wartości odczynu gleby są korzystniejsze dla rozwoju i efektywnego działania tych bakterii. Niższe plony bobiku uzyskuje się na glebach mniej zasobnych, o niższym odczynie, nawet przy stosowanym nawożeniu mineralnym. Nieprzydatne do uprawy są natomiast gleby przesuszone i nadmiernie wilgotne, gdyż w tych warunkach utrudniony jest rozwój systemu korzeniowego i bakterii brodawkowych.

Odpowiedni odczyn gleby jest podstawowym warunkiem nawiązania współżycia z bakteriami brodawkowymi i wykorzystania składników pokarmowych przez rośliny bobiku. Zaleca się, aby gleby kwaśne (pH poniżej 5,5) wapnować, najlepiej wraz z zabiegami poźniwymi, po zbiorze przedplonu. W praktyce zaleca się wysiew dawki 1,5–3,0 t CaO·ha⁻¹ na ściernisko i wymieszanie jej z glebą gruberem. Dodatkowo, jeśli zawartość magnezu jest mniejsza niż 6 mg·100 g⁻¹ gleby, należy zastosować wapno magnezowe.

Łubiny

Spśród roślin bobowatych największy areal uprawy w Polsce ma obecnie łubin wąskolistny, chociaż w roku 2023 zanotowano spadek jego powierzchni o 13,8 tys. ha w stosunku do roku 2022 (146,68 tys. ha). Łubin wąskolistny powinien być uprawiany na glebach zasobnych w magnez, klasy IIIa–IVb, zaliczanych do kompleksu pszennego dobrego, żytniego bardzo dobrego i żytniego dobrego, o pH zbliżonym do obojętnego (tab. 7.7.2).

Łubin żółty cieszy się mniejszą popularnością w porównaniu z łubinem wąskolistnym (13 107 tys. ha w 2023 r.), chociaż ma mniejsze wymagania glebowe. Można go uprawiać na glebach klasy IVb–VI, które zalicza się do kompleksu żytniego dobrego, żytniego słabego i żytniego najslabszego, ale najlepiej plonuje na glebach kompleksu żytniego dobrego, klasy V. Wymaga gleb lekko kwaśnych, o pH 5–6, ponieważ nie znosi stanowisk o odczynie obojętnym, zasadowym lub świeżo wapnowanych (tab. 7.7.2). Choruje wówczas na chlorozę wynikającą z braku dostępnych form żelaza, manganu, cynku i miedzi.

W roku 2023 powierzchnia uprawy łubinu białego była nieco większa niż łubinu żółtego i wynosiła 13 473 tys. ha. Łubin biały ma większe wymagania glebowe niż pozostałe gatunki łubinu (tab. 7.7.2). Do jego uprawy zaleca się gleby klas IIIa–V, kompleksów 4–6, zasobnych w składniki pokarmowe, o odczynie lekko kwaśnym i zbliżonym do obojętnego (pH 5,6–6,0), a nawet zasadowego. Jest to związane z wrażliwością brodawek korzeniowych na odczyn gleby uprawnej.

Tabela 7.7.2. Plon nasion i białka łubinu w zależności od kompleksu glebowego i odczynu gleby (t·ha⁻¹)

Gatunek	Kompleks/Odczyn gleby					
	żytni słaby lekko kwaśny		żytni bardzo dobry lekko kwaśny		pszenny dobry zasadowy	
	nasiona	białko	nasiona	białko	nasiona	białko
Łubin biały	1,712	0,508	1,786	0,536	2,817	0,914
Łubin wąskolistny	0,795	0,221	1,411	0,408	1,843	0,533
Łubin żółty	1,191	0,441	0,913	0,339	0,850	0,316

Źródło: Szukała i in. 1997

Lucerna

Najlepsze gleby do uprawy lucerny powinny charakteryzować się głęboką warstwą orną i znaczną zasobnością w składniki pokarmowe. Są to gleby kompleksów pszennych, żytniego bardzo dobrego i dobrego, klasy bonitacyjnej I–III. Jako optymalny odczyn przyjmuje się zakres pH od 6,0 do 7,0. Nieodpowiednie do jej uprawy są gleby kwaśne, torfowe, piaszczyste lub bardzo zwięzłe. Najlepszym przedplonem dla lucerny są rośliny okopowe na oborniku oraz rzepak i zboża, pozostawiające glebę o obojętnym odczynie i zasobną w składniki pokarmowe.

Lucerna siewna najlepiej udaje się na glebach zasobnych w wapń, o odczynie obojętnym lub lekko kwaśnym, natomiast lucerna mieszańcowa preferuje gleby mineralne, przewiewne, lekko zwięzłe. Gleba powinna mieć odczyn obojętny, a nawet lekko zasadowy. Badania prowadzone nad wpływem polepszaczy glebowych na plon lucerny potwierdziły, że obecność węglanu wapnia o wysokiej reaktywności w preparatach Physio-Mescal G18 i Physomax 975 miała wpływ na poprawę plonu w stosunku do kontroli (tab. 7.7.3).

Tabela 7.7.3. Wpływ polepszaczy glebowych i zmiany odczynu gleby na plon lucerny siewnej

Obiekt nawozowy	Odczyn gleby		Plon (t·ha ⁻¹ s.m.) suma 2012–2014
	2012	2014	
Kontrola	5,8	5,5	44,0
PK	5,8	5,5	48,5
Physio-Mescal G18	5,8	6,3	47,2
Physiomax 975	5,8	6,5	48,9

Źródło: Zielewicz i in. 2016

Koniczyna

Koniczyna czerwona jest gatunkiem pastewnym najszerzej rozpowszechnionym w uprawie wśród roślin bobowatych drobnonasiennych. Gatunek ten lubi dobre gle-

by utrzymane w kulturze. Wymaga gleb mineralnych, średnio zwięzłych i żyznych, zasobnych w fosfor, potas i wapń, o odczynie obojętnym (pH 6,5) lub lekko kwaśnym (pH 5,6–6,5). Pod uprawę koniczyny zaleca się gleby kompleksów pszennego bardzo dobrego i dobrego, zbożowego górskiego i zbożowo-pastewnego mocnego, o zwięzłej strukturze i umiarkowanej wilgotności.

Zabieg wapnowania gleby należy wykonać pod rośliny przedplonowe koniczyny lub po zbiorze rośliny ochronnej. W uprawie koniczyny na glebie kwaśnej większą rolę odgrywa wapnowanie niż nawożenie fosforowo-potasowe.

Doświadczenia połowe potwierdzają korzystny wpływ wapna na poziom plonowania tego gatunku, zwłaszcza w roku 2000, w którym generalnie plony były niższe niż w roku poprzednim. Rok 2000 wyróżniał się dodatkowo większymi opadami i wyższą temperaturą powietrza (tab. 7.7.4). Wapnowanie miało wtedy wpływ także na zagęszczenie roślin na 1m² powierzchni.

Tabela 7.7.4. Wpływ nawożenia na plonowanie koniczyny czerwonej (t s.m. · ha⁻¹)

Nawożenie	Rok		Średnia z 2 lat
	1999	2000	
0	12,77	10,31	11,55
0 + Ca	12,70	12,07	12,39
PK	12,64	10,35	11,50
PK + Ca	12,24	11,81	12,03
PKN + Ca	13,47	12,27	12,87
NIR _{0,05}	1,31	1,17	1,24

Źródło: Kacperczyk i in. 2003

Seradela

Seradela zaliczana do grupy bobowatych drobnonasiennych jest nazywana często „koniczyną gleb lekkich”. Może być wykorzystywana w gospodarstwie na różne sposoby jako roślina pastewna, jednocześnie korzystnie wpływając na żyzność i stan fitosanitarny gleby. Jest to jednoroczna roślina o małych wymaganiach siedliskowych i przydatna do uprawy na glebach lekkich lub średnich. Do jej uprawy odpowiednie są gleby zaliczane do słabszych kompleksów glebowych, ubogie w składniki pokarmowe i zakwaszone, ponieważ jest tolerancyjna na niski odczyn. Jednak źle znosi siew na glebach cięższych, zbitych i suchych, charakteryzujących się wysoką zawartością wapnia. Seradela należy do nielicznych gatunków, u których brodawki korzeniowe zawiązują się w warunkach stosunkowo niskiego odczynu (pH 4), chociaż mają wówczas małe rozmiary. Znaczną obecność brodawek dużych na korzeniach i największą aktywność bakterii symbiotycznych *Bradyrhizobium*, współżyjących z seradelą, stwierdza się przy kwaśnym i lekko kwaśnym odczynie gleby, w granicach pH 5,5–6,5.

8. NAWOZY WAPNIOWE DO ODKWASZANIA GLEB

Podstawowym źródłem wapna dla celów rolniczych są złoża wapieni i margli, a także dolomitów i kredy. Z tych surowców powstają nawozy wapniowe i wapniowo-magnezowe węglanowe, które, aby mogły być wykorzystane w rolnictwie, poddawane są dokładnemu rozdrobnieniu. Produkcja nawozów w formie tlenkowej wymaga dodatkowo przeróbki termicznej, w wyniku wyprażenia kamienia wapiennego. Oprócz nawozów wapniowych powstających w wyniku przerobu skał wapiennych w rolnictwie wykorzystuje się również wapno z produkcji ubocznej, z różnych gałęzi przemysłu. Nawozy te charakteryzują się zróżnicowaną zawartością tlenku wapnia (CaO) i wilgotnością. Decydując się na stosowanie wapien z produkcji ubocznej, konieczne trzeba zwrócić uwagę na zawartość szkodliwych pierwiastków, głównie kadmu i ołowiu.

Obecnie na rynku dostępny jest szeroki asortyment środków wapnujących. Nawozy te, aby mogły być wprowadzone do obrotu, muszą spełniać wymagania dla właściwego typu i odmiany określone w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 8 września 2010 r. w sprawie sposobu pakowania nawozów mineralnych, umieszczenia informacji o składnikach nawozowych na tych opakowaniach, sposobu badania nawozów mineralnych oraz typów wapna nawozowego (Dz.U. 2010 nr 183 poz. 1229). Ponadto muszą spełniać wymagania co do zawartości kadmu i ołowiu, które reguluje Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 9 sierpnia 2024 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. 2024 poz. 1261). W zależności od odmiany wapna nawozowego zostały określone między innymi: minimalne zawartości składnika odkwaszającego glebę, uziarnienie, zawartość wody, a dla niektórych nawozów wapniowych z produkcji ubocznej również zawartości chlorków i siarczków. Dopuszczalna wartość zanieczyszczeń w wapie nawozowym niezawierającym magnezu nie może przekraczać 8 mg kadmu (Cd) i 200 mg ołowiu (Pb) na kilogram CaO. W przypadku nawozów wapniowych zawierających magnez wartość dopuszczalnych zanieczyszczeń nie powinna przekraczać 15 mg Cd i 600 mg Pb na kilogram sumy tlenku wapnia i magnezu (CaO + MgO). Szczegółowe wymagania jakościowe dla typów wapna nawozowego znajdują się w ww. Rozporządzeniu Ministra Gospodarki, załącznik nr 6 (tab. 8.1 i 8.2).

Tabela 8.1. Typy wapna nawozowego niezawierającego magnezu

Lp.	Typ	Odmiana	Składniki podstawowe i sposób otrzymania	Minimalna zawartość składników pokarmowych CaO (%)	Inne wymagania
1.	Z przerobu	01	tlenek wapnia; przerób skał wapiennych	80	odsiew na sicie o wymiarze boku oczek kwadratowych 2 mm, %, najwyżej 25
2.		02		70	
3.		03		60	
4.	skał wapiennych	04	tlenek wapnia i węgiel wapnia lub węgiel wapienny; przerób skał wapiennych	50	odsiew na sicie o wymiarze boku oczek kwadratowych: 2 mm, %, najwyżej 10; przesiew przez sito o wymiarze boku oczek kwadratowych: 0,5 mm, %, co najmniej 50
5.		05	węgiel wapnia; przerób skał wapiennych	40	
6.	Z produkcji ubocznej	06	tlenek wapnia, węgiel wapnia, krzemiany wapnia; wapno posodowe suche, wapno defekacyjne, wapno pokarbidowe	35	zawartość wody, %, najwyżej 10; zawartość chlorków, %, najwyżej 2,5 ¹⁾
7.		07	węgiel wapnia; wapno pocelulozowe, wapno posiarzkowe, wapno dekarbonizacyjne, wapno defekacyjne, wapno pokarbidowe wilgotne, wapno posodowe podsuszone, wapno pogaszalnicze podsuszone	30	zawartość wody, %, najwyżej 30; zawartość chlorków, %, najwyżej 3,5 ²⁾ lub 3 ³⁾ ; zawartość siarczków, %, najwyżej 1,5 ⁴⁾
8.	Z produkcji ubocznej	08	węgiel wapnia; wapno defekacyjne, wapno posodowe odsączone, wapno pocelulozowe wilgotne, wapno poneutralizacyjne	25	zawartość wody, %, najwyżej 40; zawartość chlorków, %, najwyżej 3 ³⁾ lub 3,5 ²⁾
9.		09	węgiel wapnia; wapno defekacyjne mokre, wapno posodowe mokre	20	zawartość wody, %, najwyżej 50

cd. tabela 8.1

Lp.	Typ	Odmiana	Składniki podstawowe i sposób otrzymywania	Minimalna zawartość składników pokarmowych CaO (%)	Inne wymagania
10.		06a	węglan wapnia, wapno kredowe suche	35	zawartość wody, %, najwyżej 10
11.	Pochodzenia naturalnego – kopalina	07a	węglan wapnia, wapno kredowe podsuszane	30	zawartość wody, %, najwyżej 30
12.		08a	węglan wapnia, kreda odsączona	25	zawartość wody, %, najwyżej 40
13.		09a	węglan wapnia, wapno kredowe mokre	20	zawartość wody, %, najwyżej 50

¹⁾tylko dla wapna posodowego suchego;²⁾tylko dla wapna poceluzowego;³⁾tylko dla wapna posodowego podsuszonego, wapna posodowego odsączonego i wapna posodowego mokrego;⁴⁾tylko dla wapna poceluzowego i posiarkowego

Źródło: Dz.U. 2010 nr 183 poz. 1229

Tabela 8.2. Typy wapna nawozowego zawierającego magnez

Lp.	Typ	Odmiana	Składniki podstawowe i sposób otrzymania	Minimalna zawartość składników pokarmowych		Inne wymagania
				CaO + MgO (%)	w tym MgO (%)	
1.	01	01	tlenek wapnia i tlenek magnezu oraz węgiel wapnia i węgiel magnezu; prażenie, mielenie, odsiewanie skał wapniowo-magnezowych	75	25	odsiew na sicie o wymiarze boku oczek kwadratowych: 2 mm, %, najwyżej 25
				60	20	
2.	02	02	węgiel wapnia i węgiel magnezu lub węgiel wapnia, węgiel magnezu i tlenek wapnia i tlenek magnezu; mielenie, odsiewanie skał wapniowo-magnezowych lub mieszanie skał wapniowo-magnezowych z prażonymi skałami wapniowo-magnezowymi	50	15	zawartość wody, %, najwyżej 10; odsiew na sicie o wymiarze boku oczek kwadratowych 2 mm, %, najwyżej 10; przesiew przez sito o wymiarze boku oczek kwadratowych 0,5 mm, %, co najmniej 50
3.	03	03	węgiel wapnia i węgiel magnezu lub węgiel wapnia, węgiel magnezu i tlenek wapnia; mielenie, odsiewanie, mieszanie skał wapniowo-magnezowych ze skałami wapniowymi lub tlenkiem wapnia	50	8	zawartość wody, %, najwyżej 10; odsiew na sicie o wymiarze boku oczek kwadratowych 2 mm, %, najwyżej 10; przesiew przez sito o wymiarze boku oczek kwadratowych 0,5 mm, %, co najmniej 50
4.	04	04	węgiel wapnia i węgiel magnezu; mielenie, odsiewanie, mieszanie skał wapniowo-magnezowych ze skałami wapniowymi lub tlenkiem wapnia	45	15	zawartość wody, %, najwyżej 10; odsiew na sicie o wymiarze boku oczek kwadratowych 2 mm, %, najwyżej 10; przesiew przez sito o wymiarze boku oczek kwadratowych 0,5 mm, %, co najmniej 50
5.	05	05	węgiel wapnia i węgiel magnezu; mielenie, odsiewanie skał wapniowo-magnezowych	45	8	zawartość wody, %, najwyżej 10; odsiew na sicie o wymiarze boku oczek kwadratowych 2 mm, %, najwyżej 10; przesiew przez sito o wymiarze boku oczek kwadratowych 0,5 mm, %, co najmniej 50
6.	06	06	węgiel wapnia i węgiel magnezu lub węgiel wapnia, węgiel magnezu i tlenek wapnia; mielenie, odsiewanie, mieszanie skał wapniowo-magnezowych ze skałami wapniowymi lub tlenkiem wapnia	45	8	zawartość wody, %, najwyżej 10; odsiew na sicie o wymiarze boku oczek kwadratowych 2 mm, %, najwyżej 10; przesiew przez sito o wymiarze boku oczek kwadratowych 0,5 mm, %, co najmniej 50
7.	07	07	węgiel wapnia i węgiel magnezu lub węgiel wapnia, węgiel magnezu i tlenek wapnia; mielenie, odsiewanie, mieszanie skał wapniowo-magnezowych ze skałami wapniowymi lub tlenkiem wapnia	40	8	zawartość wody, %, najwyżej 10; odsiew na sicie o wymiarze boku oczek kwadratowych 2 mm, %, najwyżej 10; przesiew przez sito o wymiarze boku oczek kwadratowych 0,5 mm, %, co najmniej 50

Źródło: Dz.U. 2010 nr 183 poz. 1229

Środki wapnujące mogą być wprowadzane na rynek na podstawie Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1009 z dnia 5 czerwca 2019 r. ustanawiającego przepisy dotyczące udostępniania na rynku produktów nawozowych UE, zmieniającego rozporządzenia (WE) nr 1069/2009 i (WE) nr 1107/2009 oraz uchylającego rozporządzenie (WE) nr 2003/2003. Zasadniczą różnicą w stosunku do prawodawstwa krajowego jest brak typów i odmian środków wapnujących, określono tylko inne wymagania co do uziarnienia, wprowadzono minimalną liczbę zubożniania i reaktywność jako kryterium obowiązkowe. Zawartość składników odkwaszających deklaruje producent nawozu. Ocena wartości zanieczyszczeń obejmuje określenie zawartości kadmu, ołowiu, chromu (VI), rtęci, niklu, arsenu, miedzi i cynku.

Rodzaje środków wapnujących

Środki wapnujące obecne na rynku możemy podzielić według kilku kryteriów:

- 1) nawozy wapniowe tlenkowe zawierające wapń w postaci tlenku wapnia CaO lub węglanowe zawierające wapń w postaci węglanu wapnia CaCO_3 ;
- 2) nawozy wapniowe zawierające magnez lub niezawierające magnezu, tutaj znajdują się zarówno środki wapnujące w formie tlenków, jak i węglanów;
- 3) trzecie kryterium podziału to pochodzenie wapna: z przerobu skał wapiennych, z produkcji ubocznej, tzn. czy jest to rozdrobniona kopalina czy użyteczne odpady przemysłowe. Niezależnie od pochodzenia czy podziału zawartość wapnia w nawozach wapniowych podaje się w procentach CaO , zarówno w nawozach tlenkowych, jak i węglanowych.

Nawozy wapniowe tlenkowe nadają się na gleby średnie i ciężkie, powstają w wyniku wyprężania kamienia wapiennego w wysokich temperaturach powyżej 1000°C . Minimalna zawartość CaO w zależności od odmiany wynosi od 60% do co najmniej 80%. Działają szybko, w krótkim czasie zmieniając kwasowość gleby. Stosując wapno tlenkowe, należy zachować szczególną ostrożność, aby nie doprowadzić do zjawiska, jakim jest przewapnowanie gleb. Stosowanie szybko działającego wapna na glebach ciężkich poprawia strukturę gruzelkową, co przekłada się na lepsze warunki powietrzno-wodne w glebie. Wapna tlenkowe nie powinny być stosowane na gleby lekkie o małej zdolności buforowej.

Nawozy wapniowe węglanowe (wapniak mielony, kreda) łagodnie zmieniają odczyn gleby, nadają się przede wszystkim na gleby lekkie o słabych właściwościach buforowych. Można stosować je także do wapnowania zachowawczego na glebach ciężkich (w celu utrzymania optymalnego odczynu). Jeżeli zależy nam na szybkim podniesieniu pH, warto zdecydować się na kredę, która jest również nawozem węglanowym, ale dzięki młodszemu pochodzeniu geologicznemu i wysokiej reaktywności (nawet 100%) będzie działała znacznie szybciej.

Nawozy wapniowo-magnezowe zaleca się stosować na gleby o bardzo niskiej i niskiej zasobności w magnez przyswajalny. Nawozy te otrzymuje się z dolomitów, poprzez ich prażenie (tlenkowo-magnezowe) lub zmielenie (węglanowo-magnezowe). Skały dolomitowe są twarde, dlatego mielenie musi być bardzo dokładne.

Wapno defekacyjne jest jednym z najbardziej cenionych wapien z produkcji ubocznej. Powstaje ono w procesie ekstrakcji cukru, w trakcie którego tzw. mleczko wapienne wiąże niecukrowe związki obecne w soku surowym. Wapno defekacyjne jest silnie uwodnione i w świeżej masie zawiera około 20% CaO. Obecnie wapno defekacyjne poddaje się procesowi suszenia do uzyskania 70% suchej masy i w takiej formie traktowany jest jako wapno nawozowe. W zależności od typu wapno defekacyjne może zawierać 20–35% CaO w formie węglanowej, szereg związków mineralnych, składników pokarmowych, około 0,4–0,8% N, 0,9–1,8% P₂O₅, i 0,1–0,25% K₂O oraz dodatkowo mikroelementy.

Z rolniczego punktu widzenia często bardzo istotna jest szybkość działania nawozów. Do nawozów szybko odkwaszających glebę zaliczane są formy wodorotlenkowe i tlenkowe, a wolno odkwaszające glebę to węglany i krzemiany. Dodatkowo w grupie nawozów wolno działających duże znaczenie ma rozdrobnienie nawozu i pochodzenie geologiczne. Środki wapnujące pochodzące z młodszych okresów geologicznych charakteryzują się wyższą aktywnością chemiczną, co przekłada się na szybszy efekt odkwaszający. W tabeli 8.3 przedstawiono niektóre właściwości chemiczne wybranych skał węglanowych.

Tabela 8.3. Właściwości chemiczne wybranych skał węglanowych

Okres geologiczny	Siła zobojętniająca w %	Aktywność chemiczna* w %
	wapienie	
Kambr	53,3	15–25
Dewon	55,8	20–26
Trias	55,0	25–20
Jura	53,3	35–46
Kreda	47,2	65–100
dolomity		
Prekambr	56,3	9,7
Dewon	57,4	9,9
Trias	55,0	35,0

*frakcji 0,03–0,2 cm

Źródło: Fotyma i Zięba 1988

Wartość nawozów wapniowych i wapniowo-magnezowych zależy między innymi od % zawartości CaO i MgO, a więc od pierwiastków, które decydują o tzw. sile

zobojętniania oraz od rozdrobnienia i pochodzenia geologicznego, na co wskazuje aktywność chemiczna.

Siła zobojętniająca wyraża zdolność jednostki masy skały lub nawozu do zobojętniania określonej ilości kwasu i teoretycznie powinna być równa procentowej zawartości CaO w nawozie. Praktycznie siła zobojętniająca może być mniejsza lub większa od teoretycznej. Siła zobojętniająca mniejsza niż % CaO w nawozie występuje wówczas, gdy wapń jest częściowo w postaci soli obojętnych, np. siarczanu wapnia (CaSO_4). Siła zobojętniająca większa niż % CaO występuje wówczas, gdy w nawozie obok wapnia pojawia się magnez. Wynika to z faktu, że tlenek magnezu ma o 40% większą siłę zobojętniającą niż tlenek wapnia (1 t MgO powoduje taki sam efekt odkwaszający w glebie jak 1,4 t CaO). Z tego względu dolomity mają większą liczbę zobojętnienia niż wapienie, oczywiście pod warunkiem, że ulegną rozpuszczeniu w środowisku glebowym i będą wystarczająco aktywne chemicznie.

Reaktywność (aktywność chemiczna) to miara szybkości reakcji nawozu wapniowego z glebą. Wyraża się ją w procentach w stosunku do aktywności świeżo strąconego węglanu wapnia, którą przyjęto za 100%. Cecha ta ma ścisły związek ze stopniem rozdrobnienia surowca, dlatego wyznacza się ją przy ściśle określonej średnicy cząstek. Aktywność chemiczna związana jest ściśle z wiekiem geologicznym surowców wapniowych. Waha się od kilkunastu % dla najstarszych wapieni i dolomitów z okresu prekambryjskiego do 100% dla miękkich skał z okresu kredowego. Wysoka aktywność chemiczna nawozu wapniowego jest jedną z jego najważniejszych właściwości przydatnych dla rolnika. Niska aktywność chemiczna środków wapnujących oznacza, że ich działanie odkwaszające jest powolne i rozłożone w czasie. Często w pierwszych dwóch latach po zastosowaniu tych nawozów działanie jest słabe. Wysoka aktywność chemiczna młodych wapieni (kreda), często sięgająca 100% (nawozy tlenkowe około 200%), przesądza o dużej szybkości ich działania.

Zalecenia w zakresie wapnowania

Podstawową częścią systemu nawożenia jest doprowadzenie gleby do optymalnego pH poprzez wapnowanie. Zabieg ten wyrównuje straty wapnia wymywanego przez opady oraz wynoszonego z gleby z plonami roślin. Wielkość zalecanych dawek nawozów wapniowych na gleby gruntów ornych zależy od odczynu gleby i jej składu granulometrycznego (tab. 8.4). Zapotrzebowanie na nawozy wapniowe wynika ze stanu zakwaszenia gleby oraz konieczności doprowadzenia ich odczynu do uznawanego za optymalny dla danej kategorii agronomicznej gleb. Wapnowanie jest zabiegiem zbędnym, gdy pH gleb bardzo lekkich wynosi $>5,6$, lekkich $>6,1$, średnich $>6,6$ i ciężkich $>7,1$. Wapnowanie na glebach powyżej wskazanego zakresu nie przynosi żadnych dodatkowych korzyści, wręcz przeciwnie, może powodować skutki ujemne.

Tabela 8.4. Dawka wapna w zależności od kategorii agronomicznej i potrzeb wapnowania w t CaO·ha⁻¹

Potrzeby wapnowania	Kategoria agronomiczna gleby							
	bardzo lekkie		lekkie		średnie		ciężkie	
	pH	dawka	pH	dawka	pH	dawka	pH	dawka
Konieczne	do 4,0	3,0	do 4,5	3,5	do 5,0	4,5	do 5,5	6,0
Potrzebne	4,1–4,5	2,0	4,6–5,0	2,5	5,1–5,5	3,0	5,6–6,0	3,0
Wskazane	4,6–5,0	1,0	5,1–5,5	1,5	5,6–6,0	1,7	6,1–6,5	2,0
Ograniczone	5,1–5,5	-	5,6–6,0	-	6,1–6,5	1,0	od 6,6	1,0

Przy wyborze formy nawozu wapniowego i ustaleniu warunków jego zastosowania należy wziąć pod uwagę rodzaj gleby podlegającej wapnowaniu oraz wymagania uprawianego gatunku. Wapno tlenkowe nadaje się 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 piaskach, bardziej celowe jest stosowanie wapna węglanowego (kredy), które jest znacznie łagodniejsze w działaniu.

Znaczna część gleb Polski charakteryzuje się niską lub bardzo niską zasobnością przyswajalnego magnezu (Mg), dlatego w sytuacji, gdy łącznie występuje kwaśny odczyn i niska zasobność w Mg, warto rozważyć wysiew wapna magnezowego. Wapno zawierające magnez zaleca się stosować na gleby bardzo kwaśne, o bardzo niskiej zawartości magnezu przyswajalnego. W zaistniałej sytuacji połowę naliczonej dawki CaO trzeba zastosować w postaci wapna zwykłego, a połowę w postaci wapna magnezowego o stosunku Ca:Mg 3–2:1. Jeśli dysponujemy nawozami o szerokim stosunku Ca:Mg, naliczoną dawkę CaO można zastosować w postaci wapna magnezowego. Na glebach kwaśnych i o niskiej zawartości przyswajalnego Mg $\frac{2}{3}$ naliczonej dawki CaO należy zastosować w postaci wapna zwykłego, a $\frac{1}{3}$ w postaci wapna z Mg. Orientacyjne dawki wapna magnezowego w zależności od zawartości magnezu w glebie i potrzeb wapnowania podano w tabeli 8.5.

Zasady stosowania wapna zawierającego magnez są takie same jak wapna zwykłego. Wapna zawierające ten składnik w formie tlenkowej zaleca się stosować na gleby kategorii agronomicznej średniej i ciężkiej, natomiast wapna węglanowe z magnezem na gleby lekkie i bardzo lekkie. Decydując się na wapno węglanowe, koniecznie trzeba zwrócić uwagę na rozdrobnienie, gdyż ten parametr w głównej mierze będzie decydował o efektywności działania. Na glebach o uregulowanym pH, charakteryzujących się niską zawartością magnezu przyswajalnego, bezpieczniej jest stosować magnez w postaci nawozów bezwapniowych.

Tabela 8.5. Optymalne dawki nawozów wapniowo-magnezowych w t CaO+MgO*·ha⁻¹

Kategoria agronomiczna gleb	Zawartość magnezu w glebie			
	bardzo niska		niska	
	przedział potrzeb wapnowania			
	konieczne	potrzebne	konieczne	potrzebne
Bardzo lekkie	1,5	1,0	1,0	0,7
Lekkie	1,7	1,2	1,2	0,8
Średnie	2,2	1,5	1,5	1,0
Ciężkie	3,0	1,5	2,0	1,0

*o stosunku Ca:Mg jak 3–2:1

Źródło: Fotyma i Zięba 1988

Wielkość dawki wapna wyraża się w tonach czystego składnika, tj. tlenku wapnia (CaO) na 1 ha. W zależności od rodzaju stosowanego środka czy zawartości CaO należy ustalić masę nawozu, którą trzeba wysiać na 1 ha według wzoru:

$$\text{Ilość nawozu} = \frac{\text{dawka czystego składnika w t}\cdot\text{ha}^{-1}}{\% \text{ CaO w nawozie}} \times 100$$

Poza właściwym ustaleniem optymalnej dawki CaO niezwykle istotne jest ulokowanie zabiegu wapnowania w odpowiednim miejscu w zmianowaniu. W zmianowaniach z dobozem roślin wrażliwych i bardzo wrażliwych na kwaśny odczyn gleby wapno można wysiać pod każdy gatunek. Jeśli w zmianowaniu występują gatunki mało wrażliwe na zakwaszenie gleby, staramy się, aby zabieg wapnowania był możliwie odległy w czasie od uprawy ziemniaka, lnu czy łubinu żółtego. Jeżeli jest to możliwe, najlepiej jest zastosować nawóz wapniowy po zbiorze wymienionych gatunków. Natomiast w zmianowaniach, w których uprawiane są gatunki wrażliwe jak i mało wrażliwe na zakwaszenie, kierujemy się zasadą, aby te ostatnie (mało wrażliwe) uprawiać w roku wapnowania i następnie w najdalszych latach od wapnowania.

Bardzo istotny jest termin wapnowania. Najkorzystniejszy przypada latem, po sprzęcie zbóż, ze względu na możliwość dobrego wymieszania wysianego wapna z glebą. Jeżeli nie stosuje się obornika lub gnojowicy, można wapnować pole w zespole jesiennych uprawek przedsięwziętych przed orką siewną lub przed orką przedzimową. Zmiany odczynu gleby zależą od wyjściowego pH, zastosowanego wapna i jego dawki, jednak najczęściej widoczne są w 2. lub 3. roku od jego zastosowania. Pozytywne oddziaływanie wapnowania na żyzność gleby i plony roślin trwa przez 3–5 lat. Nawozy wapniowe możemy wysiewać również w okresie wiosennym, jednakże po aplikacji wapna należy wstrzymać się z wysiewem nasion czy sadzeniem roślin minimum 3–4 tygodnie, a maksymalna dawka to 1,0 t CaO·ha⁻¹.

Dawkę wapna można ustalić również na podstawie nowych zaleceń wapnowania gleb zaproponowanych przez Jadczyżyn (2021). Wyliczanie dawek wapna w przedstawionym systemie opiera się wyłącznie na odczynie i kategorii agronomicznej gleby. Podstawą systemu są modele regresyjne opracowane na podstawie wyników dużej liczby doświadczeń polowych przeprowadzonych w ramach doświadczalnictwa terenowego w latach 80. Na podstawie uzyskanych wyników dla każdej kategorii gleby określono zależność regresyjną pomiędzy uzyskanym odczynem a wyjściową wartością pH i zastosowaną dawką wapna. W celu bardziej precyzyjnego doradztwa w zakresie wapnowania obliczono dawki wapna na gleby poszczególnych kategorii agronomicznych, różnicując początkową wartość odczynu (pH_w) z częstotliwością 0,1 i zakładając uzyskanie optymalnego dla danej kategorii poziomu pH_{KCl}. Jako optymalną wartość pH przyjęto górną granicę ograniczonych potrzeb wapnowania dla danej kategorii agronomicznej. Na glebach lekkich, średnich i ciężkich, w sytuacji gdy wyliczona dawka wapna jest większa od zalecanej dotychczas w warunkach „koniecznych” potrzeb wapnowania, należy podzielić zalecaną dawkę na dwie: podstawową (I) i uzupełniającą (II). Dawka uzupełniająca powinna być zastosowana w odstępie 2–4 lat. W tabelach 8.6–8.9 podano zalecane dawki wapna na gruntach ornych w zależności od wyjściowego pH gleby i kategorii agronomicznej.

Tabela 8.6. Zalecane dawki wapna nawozowego na glebach bardzo lekkich

pH _w gleby	Zalecana dawka CaO (t·ha ⁻¹)	Podział dawki	
		dawka I	dawka II
5,0	0,2	0,2	-
4,9	0,5	0,5	-
4,8	0,8	0,8	-
4,7	1,0	1,0	-
4,6	1,3	1,3	-
4,5	1,6	1,6	-
4,4	1,8	1,8	-
4,3	2,0	2,0	-
4,2	2,2	2,2	-
4,1	2,4	2,4	-
4,0	2,8	2,8	-
3,9	3,1	3,1	-
3,8	3,4	3,4	-

Źródło: Jadczyżyn 2021

Tabela 8.7. Zalecane dawki wapna nawozowego na glebach lekkich (Jadczyzyn 2021)

pH _w gleby	Zalecana dawka CaO (t·ha ⁻¹)	Podział dawki	
		dawka I	dawka II
5,5	0,2	0,2	-
5,4	0,5	0,5	-
5,3	0,9	0,9	-
5,2	1,2	1,2	-
5,1	1,5	1,5	-
5,0	1,8	1,8	-
4,9	2,1	2,1	-
4,8	2,3	2,3	-
4,7	2,6	2,6	-
4,6	2,9	2,9	-
4,5	3,1	3,1	-
4,4	3,4	3,4	-
4,3	4,5	3,5	1,0
4,2	4,7	3,5	1,2
4,1	5,5	3,5	2,0
4,0	5,9	3,5	2,4
3,9	6,3	3,5	2,8
3,8	6,5	3,5	3,0

Źródło: Jadczyzyn 2021

Tabela 8.8. Zalecane dawki wapna nawozowego na glebach średnich

pH _w gleby	Zalecana dawka CaO (t·ha ⁻¹)	Podział dawki	
		dawka I	dawka II
6,0	0,4	0,4	-
5,9	0,8	0,8	-
5,8	1,2	1,2	-
5,7	1,6	1,6	-
5,6	2,0	2,0	-
5,5	2,4	2,4	-
5,4	2,8	2,8	-
5,3	3,2	3,2	-
5,2	3,6	3,6	-
5,1	3,9	3,9	-
5,0	4,2	4,2	-
4,9	4,4	4,4	-
4,8	4,8	4,8	-
4,7	5,0	5,0	-
4,6	5,4	5,0	0,4

cd. tabela 8.8.

pH _w gleby	Zalecana dawka CaO (t·ha ⁻¹)	Podział dawki	
		dawka I	dawka II
4,5	5,8	5,0	0,8
4,4	6,2	5,0	1,2
4,3	6,4	5,0	1,4
4,2	6,6	5,0	1,6
4,1	7,0	5,0	2,0
4,0	7,4	5,0	2,4
3,9	7,8	5,0	2,8

Źródło: Jadczyzyn 2021

Tabela 8.9. Zalecane dawki wapna nawozowego na glebach ciężkich

pH _w gleby	Zalecana dawka CaO (t·ha ⁻¹)	Podział dawki	
		dawka I	dawka II
6,3	0,2	0,2	-
6,2	0,2	0,2	-
6,1	0,5	0,5	-
6,0	0,8	0,8	-
5,9	1,0	1,0	-
5,8	1,5	1,5	-
5,7	2,0	2,0	-
5,6	2,5	2,5	-
5,5	3,0	3,0	-
5,4	3,5	3,5	-
5,3	3,8	3,8	-
5,2	4,1	4,1	-
5,1	4,5	4,5	-
5,0	4,8	4,8	-
4,9	5,1	5,1	-
4,8	5,4	5,4	-
4,7	5,7	5,7	-
4,6	5,8	5,8	-
4,5	6,0	6,0	-
4,4	7,0	6,0	-
4,3	7,5	6,0	1,5
4,2	8,0	6,0	2,0
4,1	9,0	6,0	3,0
4,0	9,8	6,0	3,8
3,9	10,8	6,0	4,8

Źródło: Jadczyzyn 2021

9. WSPÓLNA POLITYKA ROLNA

Jednym z nowych elementów Wspólnej Polityki Rolnej (WPR) w latach 2023–2027 są ekoschematy, które mają na celu wspierać rolników w stosowaniu praktyk zmniejszających negatywny wpływ rolnictwa na środowisko i klimat. Ekoschematy to nowy rodzaj płatności bezpośrednich dotyczący działań korzystnych na rzecz środowiska, klimatu i dobrostanu zwierząt, które wykraczają ponad podstawowe wymogi wynikające z warunkowości, za które rolnik może otrzymać dodatkowe wsparcie finansowe pod warunkiem przystąpienia do nich. Ekoschematy zostały tak zaprojektowane, żeby promować praktyki, które przekładają się na dochody rolnicze poprzez zwiększenie żyzności gleby, racjonalne nawożenie, poprawę jakości plonów. Służy temu przede wszystkim ekoschemat rolnictwo węglowe i zarządzanie składnikami odżywczymi, w ramach którego rolnicy z ośmiu dostępnych praktyk mogą wybierać te, które najlepiej odpowiadają na ich potrzeby. W ramach Planu Strategicznego dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023–2027 (Dz.U. 2024 poz. 1741) wprowadzono łącznie 5 ekoschematów obszarowych oraz ekoschemat dobrostan zwierząt.

Ekoschematy obszarowe:

- I. Rolnictwo węglowe i zarządzanie składnikami odżywczymi, który obejmuje osiem praktyk rolniczych:
 1. Ekstensywne użytkowanie trwałych użytków zielonych (TUZ) z obsadą zwierząt;
 2. Międzyplony ozime lub wsiewki śródplonowe;
 3. Opracowanie i przestrzeganie planu nawożenia, wariant podstawowy i wariant z wapnowaniem;
 4. Zróżnicowana struktura upraw;
 5. Wymieszanie obornika na gruntach ornych w terminie 12 godzin od jego aplikacji;
 6. Stosowanie nawozów naturalnych płynnych innymi metodami niż rozbrzygowo;
 7. Uproszczone systemy uprawy;
 8. Wymieszanie słomy z glebą.
- II. Obszary z roślinami miododajnymi.
- III. Retencjonowanie wody na trwałych użytkach zielonych.
- IV. Integrowana Produkcja Roślin.
- V. Biologiczna ochrona upraw.
- VI. Grunty wyłączone z produkcji.
- VII. Materiał siewny kategorii elitarny i materiał siewny kategorii kwalifikowany.

Z przedstawionych wyżej ekoschematów najbardziej związany z wapnowaniem jest ekoschemat rolnictwo węglowe i zarządzanie składnikami odżywczymi, praktyka – opracowanie i przestrzeganie planu nawożenia, wariant z wapnowaniem. Wsparcie w tym wariantcie jest przyznawane, jeżeli rolnik sprostą poniższym wymaganiom:

- spełnia warunki do przyznania płatności w wariantcie podstawowym, z tym że prowadzenie rejestru obejmuje również wskazywanie informacji o stosowaniu nawozu wapniowego;
- posiada imienny dokument potwierdzający zakup nawozu wapniowego albo inny imienny dokument potwierdzający nabycie tego nawozu, w którym wskazano jego ilość;
- zastosował wapnowanie na powierzchni gruntów w gospodarstwie o pH niższym lub równym 5,5;
- do działki, do której ubiega się o przyznanie płatności w ramach tej praktyki w terminie czterech lat poprzedzających rok złożenia wniosku o przyznanie płatności nie otrzymał z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) decyzji w sprawie przyznania dofinansowania na zakup nawozu wapniowego.

10. PODSUMOWANIE

Wapnowanie jest zabiegiem agrotechnicznym, w określonych warunkach (przy bardzo kwaśnym odczynie) także środowiskowym, który korzystnie wpływa na szerokie spektrum właściwości edaficznych gleby. Grunty orne o uregulowanym odczynie charakteryzują się zdecydowanie lepszą przyswajalnością i efektywnością wykorzystania składników pokarmowych. Azot i fosfor zastosowane na glebie o uregulowanym odczynie odznaczają się znacznie większą efektywnością plonotwórczą niż na glebach kwaśnych. Lepsze wykorzystanie składników pokarmowych z gleby pośrednio przyczynia się do ograniczania wymywania składników biogennych do wód gruntowych czy powierzchniowych (głównie N, P). W konsekwencji wieloletniego oddziaływania wapnowania na funkcjonowanie gleby zwiększa się zarówno potencjał produkcyjny gleb, jak i zostaje ograniczony ujemny wpływ na środowisko nadmiaru biogenów. Należy pamiętać, że zakwaszanie gleb uprawnych jest procesem naturalnym, ciągłym i niezależnym od woli rolnika. Raz odkwaszona gleba bez systematycznego wapnowania za kilka lat ponownie ulegnie zakwaszeniu. Dlatego w celu ograniczenia negatywnego wpływu kwaśnego odczynu na uprawiane rośliny należy systematycznie badać odczyn gleby, co najmniej raz na 4 lata. Aby wapnowanie było efektywne, warto kierować się następującymi wskazówkami:

1. Dawki nawozów wapniowych i wapniowo-magnezowych należy ustalić na podstawie aktualnego odczynu gleby oraz kategorii agronomicznej;
2. Wapnowanie należy rozważyć, gdy wartość odczynu znajdzie się w zakresie dolnego przedziału pH w klasie potrzeb wapnowania ograniczonego;
3. Wapnowanie zaleca się wykonać w zespole uprawek poźniwnych po sprzęcie roślin i dokładnie wymieszać z glebą;
4. Nawozy wapniowe powinno stosować się pod przedplon, po którym przyjdzie w zmianowaniu gatunek najbardziej wymagający pod względem odczynu gleby, np.: burak cukrowy, rzepak, lucerna, jęczmień, natomiast nie zaleca się wapnowania pod gatunki wrażliwe, tj. ziemniak, len, łubin żółty, owies;
5. Na gleby o małych zdolnościach buforowych należy stosować wapno węglanowe łagodnie działające. Gleby ciężkie o dużych właściwościach buforowych można wapnować wapnami tlenkowymi;
6. Wapnowania nie wolno łączyć ze stosowaniem obornika, jak również z nawożeniem mineralnym innymi składnikami pokarmowymi, ponieważ dochodzi do ich strat (utlenianie do atmosfery – amoniak, uwstecznianie fosforu);
7. Do odkwaszania gleb i wzbogacania ich w magnez należy stosować tylko nawozy wapniowe i wapniowo-magnezowe dopuszczone do obrotu i stosowania w rolnictwie;

8. Nigdy nie wolno dopuścić do silnego zakwaszenia gleb i bardzo znacznego wyczerpania ich z rezerw przyswajalnych form składników pokarmowych. Zakwaszenie gleby zakłóca pobieranie przez rośliny uprawne składników pokarmowych, głównie fosforu i wapnia, a także magnezu i molibdenu;
9. Do rozsiewu nawozów wapniowych należy stosować wyłącznie przystosowane i dobrze wyregulowane rozsiewacze, co zapewnia równomierny wysiew wapna na całym polu. Nierównomierny rozsiew nawozów wapniowych może powodować lokalnie nadmierny wzrost pH gleby z ujemnymi tego skutkami;
10. Nie wolno wykonywać zabiegu wapnowania na glebach zamarzniętych, zalanych wodą, nasyconych wodą czy pokrytych śniegiem. Za glebę zamarzną nie uznaje się gleby, która rozmarza co najmniej powierzchniowo w ciągu dnia.

11. LITERATURA

1. Barłóg P.: Dlaczego odpowiedni odczyn gleby jest ważny? Agro Profit, 4 kwietnia 2024; <https://agroprofil.pl/wiadomosci/uprawa/dlaczego-odpowiedni-odczyn-gleby-jest-wazny/>
2. Boguszewski W.: Wapnowanie gleb. PWRiL, Warszawa 1980, ss. 176.
3. Boros L.: Groch siewny. Postęp hodowlany i elementy agrotechniki. Agro Serwis, wyd. 2, 2010, s. 32-34.
4. Brodowska M.S.: Jak dostosować uprawę roślin do odczynu gleby? 22.07.2023; <https://www.wrp.pl/jak-dostosowac-uprawe-roslin-do-odczynu-gleby> (dostęp 24.10.2024).
5. Cihacek L. Augustin Ch., Buetow R., Landblom D., Alghamdi R., Şentürklü S.: What is Soil Acidity?; <https://www.ndsu.edu/agriculture/extension/publications/what-soil-acidity> (dostęp 24.10.2024)
6. Effects of soil acidity. Agriculture and Food, 17.08.2018; <https://www.agric.wa.gov.au/soil-acidity/effects-soil-acidity> (dostęp 24.10.2024).
7. Ekspert radzi. Strączkowe same sobie nie poradzą, LUVENA nawozy z Lubonia; <https://nawozy.pl/strefa-wiedzy/ekspert-radzi/straczkowe-same-sobie-nie-poradza/>
8. Filipek T., Dechnik I.: Glin wymienny jako wskaźnik żyzności gleby. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 1995, 421a: 67-76.
9. Filipek T., Skowrońska M.: Aktualnie dominujące przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo w Polsce. Acta Agrophysica, 2013, 20(2): 283-294.
10. Filipek T. i in.: Zakwaszenie i wapnowanie gleb. Fundacja Pomocy dla Rolnictwa, FAPA 2015, ss. 236.
11. Fotyma M., Zięba S.: Przyrodnicze i gospodarcze podstawy wapnowania gleb. PWRiL, Warszawa 1988, ss. 250.
12. 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.
13. Grzebisz W., Szczepaniak W., Diatta J.B.: ABC wapnowania gleb uprawnych. Prodruk, 2005, ss. 49.
14. Grzebisz W., Diatta J.B., Szczepaniak W.: Produkcyjne i ekologiczne uwarunkowania wapnowania gleb gruntów ornych. Nawozy i Nawożenie, 2006, 27: 69-85.
15. Grzebisz W.: Nawożenie roślin uprawnych. Tom 2 – Systemy nawożenia. PWRiL, Poznań 2009, ss. 376.

16. Grzebisz W.: Technologie nawożenia roślin uprawnych – fizjologia plonowania. Tom 1 – Oleiste, okopowe i strączkowe, PWRiL, Poznań 2011, ss. 280.
17. Grzebisz W.: Nawożenie roślin uprawnych. Tom 2 – Nawozy i systemy nawożenia, PWRIL, Poznań 2015, ss. 376.
18. Harasimowicz-Herman G., Andrzejewska J.: Część IX. Rośliny bobowate drobnonasienne. W: Uprawa roślin, t. III. A. Kotecki (red.). UP we Wrocławiu, 2020.
19. Hołubowicz-Kliza G., Jadczyżyn T., Sułek A.: Poradnik wapnowania gleb gruntów ornyc. Wyd. IUNG-PIB, Puławy 2021, https://iung.pl/dotacjaceLOWA/dc2021/publikacje/poradnik_wapnowania_gleb.pdf
20. Jadczyżyn T., Ochal P.: Zakwaszenie gleb i potrzeby wapnowania. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, 34(8): 9-18.
21. Jadczyżyn T.: Nowe zalecenia w zakresie wapnowania gleb. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2021, 65(19): 99-109.
22. Jaskólska I., Jaskólski D., Kotwica K.: Zależność plonowania grochu siewnego od wybranych właściwości gleby. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2011, t.11, 2(34): 83-93.
23. Kabata-Pendias A., Pendias H.: Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN Wyd. II, Warszawa 1999, ss. 400.
24. Kacperczyk M., Radkowski A., Wyczesna I.: Wpływ rodzaju nawożenia na rozwój i plonowanie koniczyny łąkowej (*Trifolium pratense* L.). Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura, 2003, 2(2): 125-130.
25. Kobus A.: Powierzchnia uprawy roślin bobowatych w 2023 r. Ile zasiano soi? Farmer, sierpień 2023; <https://www.farmer.pl/produkcja-roslinna/inne-uprawy/powierzchnia-uprawy-straczkowych-w-2023r-ile-zasiano-soi,134334.html>
26. Kozak M.: Jak uprawiać groch siewny? Wszystko co trzeba wiedzieć. Agrofakt, luty, 2021; <https://www.agrofakt.pl/jak-uprawiac-groch-siewny/>
27. Książak J., Bojarszczuk J., Gałązka A., Niedźwiedzki J., Gawryjołek K., Lenc L., Jeske M., Czyż E., Król M.: Badania nad uprawą kukurydzy (*Zeamays* L.) w wieloletniej monokulturze i zmianowaniu. Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG-PIB, 2018, 58: 1-122.
28. Luboiński A., Markowicz M.: Wpływ systemu nawożenia azotem na plonowanie trzech odmian soi (*Glycine max* (L.) Merr). Fragmenta Agronomica, 2017, 34(#): 66-75.
29. Lipiński W.: Odczyn gleb Polski. Nawozy i Nawożenie, 2005, 23: 33-40.
30. Łuczak E.: O sukcesie w uprawie strączkowych decydują pierwsze kroki. POLIFOSKA; <https://polifoska.pl/porady/216-o-sukcesie-w-uprawie-straczkowych-decyduja-pierwsze-kroki>
31. Metodyka Integrowanej Produkcji Kukurydzy (Wyd. III), Z. Kaniuczuk, S. Pruszyński (red.), Warszawa 2020.

32. *Metodyka Integrowanej Produkcji Soi*, P. Strażyński, P. Kardasz, M. Mrówczyński (red.). IOR-PIB w Poznaniu, 2023, ss. 73.
33. *Metodyka integrowanej ochrony i produkcji bobiku dla doradców*, P. Strażyński i M. Mrówczyński (red.), IOR-PIB Poznań, 2016, ss. 77.
34. *Metodyka integrowanej ochrony łubinu wąskolistnego, żółtego i białego dla doradców*, R. Krawczyk i M. Mrówczyński (red.), IOR-PIB w Poznaniu, 2012, ss. 133.
35. *Metodyka integrowanej ochrony seradeli siewnej dla doradców*, P. Strażyński i M. Mrówczyński (red.). IOR-PIB w Poznaniu, 2018, ss. 136.
36. Molybdenum – New South Wales; <https://www.soilquality.org.au/factsheets/molybdenum-nsw> (dostęp 24.10.2024)
37. Noworolnik K., Grabiński J.: Reakcja odmian żyta na warunki glebowe. *Polish Journal of Agronomy*, 2017, 31: 21-26.
38. Noworolnik K.: Wpływ wybranych cech jakości gleby na plonowanie pszenicy ozimej i jęczmienia ozimego. *Acta Agrophysica*, 2009, 12(2): 477-485.
39. Ochal P.: Regeneracyjne wapnowanie gleb w Polsce. Instrukcja upowszechnieniowa nr 198, IUNG-PIB, Puławy, 2012, ss. 31.
40. Ochal P.: Wapnowanie podstawowym elementem dobrych praktyk rolniczych. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2014, 37(11): 9-18.
41. Ochal P., Jadczyzyn T., Jurga B., Kopiński J., Matyka M., Madej A., Rutkowska A., Smreczak B., Łysiak M.: Środowiskowe aspekty zakwaszenia gleb w Polsce. Ekspertyza na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Puławy 2017, ss. 24.
42. Opitz von Boberfeld W.: *Grünlandlehre. Biologosche und ökologische Grundlagen*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1994, pp. 336.
43. Podleśna A. Proces wiązania N_2 przez rośliny bobowate jako źródło azotu dla roślin uprawnych. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2018, 56(10): 71-85.
44. Podleśna A., Podleśny J.: Wpływ warunków pogodowych i wybranych czynników agrotechnicznych na plonowanie bobiku. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2016, 49(3): 35-46.
45. Powierzchnia uprawy kukurydzy w Polsce w 2024 r. Polski Związek Producentów Kukurydzy; <https://kukurydza.info.pl/powierzchnia-uprawy-kukurydzy-w-polsce-w-2024-r/> (dostęp 24.10.2024).
46. Powierzchnie upraw w gminach. ARiMR; <https://rejestrupraw.arimr.gov.pl/> (dostęp 24.10.2024).
47. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 września 2010 r. w sprawie sposobu pakowania nawozów mineralnych, umieszczania informacji o składnikach nawozowych na tych opakowaniach, sposobu badania nawozów mineralnych oraz typów wapna nawozowego (Dz.U. 2010 nr 183 poz. 1229).

48. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 9 sierpnia 2024 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. 2024 poz. 1261).
49. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1009 z dnia 5 czerwca 2019 r. ustanawiające przepisy dotyczące udostępniania na rynku produktów nawozowych UE, zmieniające rozporządzenia (WE) nr 1069/2009 i (WE) nr 1107/2009 oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 2003/2003 (Tekst mający znaczenie dla EOG)
50. Rudnicki F., Wasilewski P.: Znaczenie mieszanek zbożowych i zbożowo-strączkowych w ograniczaniu ujemnych skutków dużego udziału zbóż w zmianowaniu. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 2000, 470: 127-135.
51. Rymuza K., Radzka E.: Ocena zdolności kiełkowania nasion soi w zależności od odczynu podłoża. *Progress in Plant Protection*, 2021, 61(3): 201-206.
52. Seradela w plodozmianie. *Kalendarz Rolników.pl*, 16.01.2021; <https://www.kalendarzrolnikow.pl/10016/seradela-w-plodozmianie> (dostęp 24.10.2024).
53. Sosulski T., Mercik S., Stępień W.: Zawartość form azotu w glebie oraz płony kukurydzy w zależności od pH, zawartości węgla organicznego oraz form azotu w nawozach. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 2006, 513: 447-455.
54. Szczepaniak W.: Wapnowanie – podstawowy czynnik agrotechniczny. UP w Poznaniu; <https://www.agro.basf.pl/pl/serwisy/doradztwo-i-informacje/wapnowanie-podstawowy-czynnik-agrotechniczny.html> (dostęp 24.10.2024).
55. Szukała J., Maciejewski T., Sobiech S.: Porównanie plonowania trzech gatunków łubinu na różnych kompleksach glebowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 1997, 446: 261-266.
56. Wpływ wapnia i wapnowania na plonowanie roślin. *Polcalc*, 20.09.2019; <https://polcalc.pl/blog/wpływ-wapnia-i-wapnowania-na-plonowanie-roślin>
57. Wymagania glebowe roślin strączkowych. *Hodowla Roślin Smolice*; <https://www.hrsmolice.pl/pl/straczkowe/artykulystraczkowe/wymagania-glebowe-roślin-straczkowych>).
58. Zalecenia nawozowe. Cz. I. Liczby graniczne dla wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. IUNG Puławy, 1990, P (44).
59. Zarządzanie glebą – pH gleby. *Polskie Stowarzyszenie Zrównoważonego Rolnictwa i Żywności*; <https://rolnictwozrownowazone.pl/rolnictwo-zrownowazone/przewodnik-rolnictwa-zrownowazonego/zarządzanie-gleba/ph-gleby/>
60. Zielewicz W., Swędrzyński A., Swędrzyńska D., Wolna-Maruwka A., Głuchowska A.: Wpływ polepszaczy glebowych na stan odżywienia i plonowanie lucerny siewnej (*Medicago sativa* L.). *Fragmenta Agronomica*, 2016, 33(1): 104-112.