Na żyzność gleby

AgroSulCa

nawóz siarkowo-wapniowy

STOSOWANIE NAWOZU

Spis treści

Wprowadzenie – niskie plony 4

AgroSulCa® – źródło wapnia i siarki

Właściwości nawozu 5
- Skład chemiczny 5
- Właściwości fizyczne 5
- Rozpuszczalność nawozu w wodzie 6
- Indeks solny **AgroSulCa®** 8

AgroSulCa® – ogólne zalecenia nawozowe

Gleby bardzo lekkie 10
Gleby lekkie 11
Gleby średnie 12
Gleby ciężkie 13
Siarka 14
- Siarka w łańcuchu pokarmowym 14
- Siarka w glebie 14
- Siarka w roślinie 17
- Funkcje siarki w roślinie 19
- Siarka: plony i jakość 20

Wapń 23
- Wapń w łańcuchu pokarmowym 23
- Wapń w glebie 24
- Wapń w roślinie 26
- Funkcje w roślinie 26
- Funkcje plonotwórcze 28

Skutki wzrastającego zakwaszenia gleb uprawnych 29
- Toksyczny glin 29
- Stan zakwaszenia gleb w Polsce 30
- Kontrola toksycznego glinu 30

Diagnostyka potrzeb nawozowych 31
- Wrażliwość roślin uprawnych 31
- Diagnostyka potrzeb nawożenia siarką 32
- Diagnostyka potrzeb nawożenia wapniem 33

Bilans siarki i wapnia w Polsce 35
- Założenia bilansowe 35
- Bilans siarki 36
- Bilans wapnia 38

Literatura wykorzystana w opracowaniu 43

Stosowanie nawozu

Polecam!

prof. Witold Grzebisz

Wprowadzenie – niskie plony

Plony roślin uprawianych w Polsce kształtują się poniżej potencjału stanowisk, w jakich są uprawiane. Ponadto wykazują znaczne wahania w latach, co stwarza duże zagrożenie dla stabilności ekonomicznej gospodarstw rolnych. Podstawowe przyczyny niskich, niestabilnych plonów tkwią w czynnikach odpowiedzialnych za żyzność gleby i wynikają z:

- dominacji gleb piaszczystych, o niskim naturalnym potencjale produkcyjnym,
- małej zawartości próchnicy w glebach uprawnych,
- dużej podatności gleb uprawnych na zakwaszenie,
- małej zawartości składników mineralnych.

Na te czynniki o charakterze naturalnym nakładają się czynniki agrotechniczne, takie jak:

- ekstremalnie małe wapnowanie,
- nadmiar stosowanego azotu,
- małe dawki fosforu, potasu, siarki i magnezu.

Suma działania niekorzystnych czynników skutkuje nieefektywną gospodarką wodą w okresie wegetacji roślin. Woda z opadów zimowych nie jest dostatecznie zagospodarowana zimą, a tym samym rośliny narażone są na duże stresy, wywołane niedoborem opadów w okresie bądź to intensywnego wzrostu, bądź to formowania plonu. Zła gospodarka wodą pogarsza warunki działania azotu z nawozów mineralnych. Konsekwencją nieefektywnej gospodarki wodą i azotem są niskie, nieregularne plony, a także zagrożenie wymywaniem azotanów, jakie rolnictwo stwarza dla środowiska, w którym żyjemy, w tym dla samego człowieka.

Podstawową zasadą współczesnego rolnictwa jest efektywne korzystanie z zasobów nieodnawialnych, a do takich należy zaliczyć paliwo kopalne zużyte do produkcji nawozów azotowych. Niedostateczna kontrola procesów zakwaszenia gleby prowadzi do spadku odczynu, skutkując redukcją jej systemu korzeniowego. Tym samym rośliny uprawne nie są w stanie pobierać zarówno wody, jak i składników ruchliwych, czyli azotu oraz średnio ruchliwych, czyli siarki, a zwłaszcza składników mało ruchliwych, takich jak fosfor i potas.

W glebach Polski wapń jest podstawowym składnikiem mineralnym, warunkującym naturalną produktywność gleb. Wzrost plonów, przy braku zwrotu wapnia w ilości pokrywającej nie tylko pobranie z plonem, lecz także ze straty (wymywanie), prowadzi do degradacji gleby. Siarka, która jeszcze pod koniec XX wieku dopływała do gleb w nadmiarze, stwarzając szereg problemów ekologicznych, obecnie dociera do gleby w ilościach zbyt małych, wywołując zagrożenie dla środowiska, lecz z powodu nieefektywnego wykorzystania azotu.

AgroSulCa®— źródło wapnia i siarki

AgroSulCa® w swym składzie zawiera dwa składniki mineralne w formie dostępnej dla rośliny, a mianowicie wapń (Ca^{2+}) oraz siarkę siarczanową (SO_4^{2-}). Nawóz wapniowo-siarczanowy o nazwie **AgroSulCa®** występuje w postaci naturalnej — drobnokrystalicznej, zwanej też w praktyce rolniczej pylistą oraz granulowanej.

Właściwości nawozu

Skład chemiczny

Średnia zawartość uwodnionego siarczanu wapnia w nawozie kształtuje się w zakresie 89–92%. Uwzględniając masę cząsteczkową siarczanu wapnia $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, wynoszącą 170 g, zawarta w nawozie siarka stanowi 18,82%, a wapń nieco więcej, gdyż 23,53%. Uwzględniając zawartą w odzyskanym produkcie tzw. wodę wolną oraz inne poboczne, lecz cenne dla gleby i roślin związki, takie jak węglany wapnia i magnezu, średnia zawartość siarki kształtuje się w zakresie 16,7–17, 3%, wynosząc średnio w nawozie **AgroSulCa®** 17%. Zawartość wapnia kształtuje się w zakresie 20,9–21,6, średnio 21%. Odczyn nawozu w wodzie waha się w zakresie od 6,0 do 7,0. Odczyn nawozu o pH większy od 6,0 wynika z obecności węglanów, co tym samym skutkuje działaniem odkwaszającym, nie tracąc przy tym podstawowej wartości nawozowej. AgroSulCa® zawiera także pewne, lecz małe ilości azotu (<1 %) w formie amonowej oraz niewielką ilość potasu i fosforu, a także niewielkie ilości boru oraz chlorków. Obecne w nawozie inne składniki mineralne są podstawowymi składnikami odżywczymi roślin uprawnych.

Właściwości fizyczne

Właściwości fizyczne nawozu AgroSulCa® opisują trzy podstawowe wskaźniki:

1. wielkość ziaren podstawowych — kryształki,
2. zawartość wody — wilgotność,
3. gęstość nasypowa.

Tylko dwie pierwsze cechy mają znaczenie jako cechy określające wartość nawozową. Wymiar kryształków siarczanu wapnia waha się od 10 do 100 pm, wykazując predyspozycję do tworzenia w wodzie zawiesiny. W glebie, tworząc naturalną zawiesinę, przemieszcza się w każdym kierunku profilu glebowego. Jest to niezwykle ważna cecha agrochemicz-

na nawozu, gdyż wskazuje na jego ruchliwość w profilu glebowym, prowadząc do wysycenia strefy aplikacji nawozu (warstwa orna, a w zasięgu podglebie).
W nawozie AgroSulCa® obecne są dwa rodzaje wody, tzw. wolna i związana. Obecność tej pierwszej kształtuje wilgotność nawozu. Zawartość wody wolnej, określającej wilgotność nawozu waha się w zakresie od 5 do 10%, a zawartość związanej jest stała, wynosząc 20%. Wilgotność nawozu w znacznym stopniu decyduje o zachowaniu się nawozu w maszynach wysiewających, prowadząc przy nadmiarze do blokowania, zawieszania się dozowników (taśm) transportujących czy też talerzy dozujących. W trakcie składowania wskazane jest zabezpieczenie pryzmy z nawozem przed nadmiarem wody lub, gdy pryzma znajduje się na wolnym powietrzu, do opracowania takiego sposobu warunków odsączania wody wolnej, aby zmniejszyć jej zawartość przed wysiewem na pole do minimum.

Rozpuszczalność nawozu w wodzie

Nawóz siarkowo-wapniowy AgroSulCa® należy do grupy nawozów o spowolnionym działaniu. Do tej grupy nawozów zalicza się te wszystkie, których rozpuszczalność w wodzie w ciągu 24 godzin nie przekracza 15%. Jak przedstawiono na ryc. 2.1 ubytek nawozu w ciągu doby wyniósł 4,5%. Ocenę rozpuszczalności nawozu przeprowadzono w wodzie o pH 5,5, co odpowiada warunkom kwasowości, jakie panują w standardowej glebie w Polsce. W ciągu 24 godzin rozpuściło się 450 mg/dm^3 nawozu, co odpowiada 100 mg Ca i 80 mg S/dm^3. Przyjmując ogólną ilość wody w glebie w jednym sezonie wegetacyjnym na poziomie 600 mm (= 6 000 000 dm^3), teoretycznie rozpuściłoby się aż 2700 kg/ha nawozu, a do gleby uwolniłoby się 486 kg S/ha i 567 kg Ca/ha.

W praktyce ilość potencjalnie uwolnionego składnika jest mniejsza, gdyż stan wysycenia profil glebowy w klimacie umiarkowanym osiąga głównie późną jesienią, a stan ten kończy się wczesną wiosną. Ilość wody zgromadzona w tym okresie w glebie odgrywa kluczową rolę w działaniu nawozu **AgroSulCa®**. Ilość zgromadzonej wody wynika ze składu granulometrycznego gleby. Im gleba jest cięższa, tym gromadzi więcej wody. Zgodnie z normatywami zamieszczonymi w tab. 2.1 ilość wody zgromadzonej w glebie w profilu o miąższości 1 m określa kategoria agronomiczna gleby.

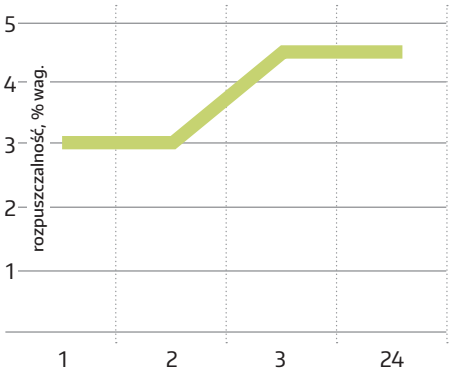
Na podstawie rozpuszczalności nawozu w wodzie i ilości wody w strefie umieszczenia nawozu można wyliczyć ilość składnika dostępnego dla rośliny. W tabeli 2.2 zestawiono dane o ilości uwolnionej siarki i wapnia z uwodnionego siarczanu wapnia, zakładając wysycenie gleby wodą na poziomie pełnego wilgotnienia (polowa pojemność wodna – PPW). Sposób

Tabela 2.1. Zakres polowej pojemności wodnej (PPW) gleb[1], mm, warstwa 0–100 cm

Bardzo lekka	Lekka	Średnia	Ciężka
110–145	146–210	211–270	271–460

[1] Rozporządzenie Ministra Środowiska (Dz.U. 02.241.2093 z dnia 31 grudnia 2002 r.)

wyliczenia ilości składnika nawozu, zakładając wymieszanie z glebą na głębokość 25 cm, przedstawia poniższy przykład. Na podstawie wiedzy i jakości gleby, a także potencjalnej ilości zgromadzonej wody w stanie wysycenia można wyliczyć dawkę nawozu **AgroSulCa®**.



Ryc. 2.1. Rozpuszczalność nawozu w wodzie w ciągu doby

I) Dane:

- kategoria agronomiczna gleby: lekka
- akumulacja wody przy PPW = 1700 m^3/ha = 1 700 000 dm^3
- miąższość warstw gleby z nawozem = 0,25 m
- ilość wody w warstwie 0,25 m = 1 700 000 x 0,25 = 425 000 dm^3
- rozpuszczalność nawozu = 0,45 g/dm^3 = 0,00045 kg/dm^3
- zawartość wapnia w nawozie 21%
- zawartość siarki w nawozie, 17% grosuic
- D_A – dawka nawozu; Ds – dawka siarki.

II) Obliczenia

$$D_{AgroSulCa} = 425\,000 \times 0{,}00045 = 191{,}25 \text{ kg/ha}$$
$$Ds = 191{,}25 \times 0{,}17 = 32{,}51 \text{ kg S/ha}$$

Tabela 2.2. Ilość wapnia i siarki rozpuszczona w okresie wysycenia gleby wodą

Kategoria gleby	Akumulacja wody, m^3/ha	Woda w warstwie gleby, m		
		1,00	0,25	0,10
Bardzo lekka	1250	119,5[1]/95,6[2]	29,9/23,9	12/9,56
Lekka	1700	162,5/130,0	40,6/32,5	16,3/13,0
Średnia	2400	229,5/183,6	57,4/45,9	23/18,36
Cieżka	3650	349/279,2	87,3/69,8	34,9/27,9

[1] wapń, [2] siarka

Z analizy danych zamieszczonych w tab. 2.2 wynika, że wskazane jest:

1. mieszanie nawozu na jak największą głębokość,
2. stosowanie nawozu w okresie od lata do późnej jesieni, gdy profil glebowy osiąga stan wysycenia.

W praktyce zabiegi mieszania rzadko przekraczają 25 cm. Najczęściej nawozy stosuje się przed siewem, mieszając glebę od kilku do kilkunastu cm. Nawozy typu AgroSulCa® działają najlepiej, gdy ulegają rozpuszczeniu w wodzie, czemu sprzyjają opady w okresie jesienno-zimowym. Stąd też warunki pogodowe w okresie od lata do wiosny decydują, jak bardzo efektywnie będzie nawóz kształtował stan odżywienia uprawianych roślin wapniem i siarką.

AgroSulCa®, ze względu na swoje właściwości fizyczne, w stanie wysycenia tworzy zawiesinę, co sprzyja migracji nawozu w głębsze warstwy gleby. Zasięg systemu korzeniowego roślin wynosi około 0,6 m. Stosując nawóz jesienią, mieszając z glebą można uzyskać dobre rozmieszczenie składników w strefie ukorzeniania się uprawianej rośliny, a tym samym optymalnie odżywić rośliny wapniem i siarką.

Indeks solny AgroSulCa®

Nawóz **AgroSulCa®**, ściślej syntetyczny siarczan wapnia, nie stwarza zagrożenia w zalecanych dawkach nawozowych nadmierną koncentracją wprowadzonej soli. Jak zestawiono w tab. 2.3, indeks solny nawozu kształtuje się na poziomie superfosfatu prostego i jest wielokrotnie mniejszy od innych nawozów stosowanych w polskim rolnictwie. Stosowanie nawozu **AgroSulCa®** w dawkach kilkukrotnie większych, zwłaszcza na glebach o słabej strukturze, wydatnie ją poprawia, stymulując tym samym wzrost roślin. W stanowiskach na glebach wykazujących tendencję do zaskorupiania się stosowanie pogłówne nawozu zmniejsza zagrożenie zaskorupiania, a tym samym poprawia warunki kiełkowania i wzrostu roślin uprawnych.

Tabela 2.3. Indeks solny AgroSulCa® na tle wskaźnika głównych nawozów stosowanych w Polsce[1]

Nawóz	Indeks solny[2]	Nawóz	Indeks solny
AgroSulCa®	8,1	Sól potasowa	116,2
Siarczan amonu	68,3	Superfosfat prosty	7,8
Saletra amonowa	104	Superfosfat potrójny	10,1
Mocznik	74,4	Fosforan jednoamonowy – MAP	26,7

[1] Źródło: Mortvedt i in., 1999; [2] wskaźnik odniesienia, saletra sodowa = 100

AgroSulCa®— ogólne zalecenia nawozowe

Nawóz jest nośnikiem dwóch składników mineralnych: wapnia i siarki. W praktyce, korzystając z tego źródła składników, należy opracować system nawożenia, czyli ustalić:

a. agrotechniczny termin stosowania

b. kalendarzowy termin stosowania

c. wielkość dawki nawozowej

Rozwiązania praktyczne wymagają w pierwszej kolejności uwzględnienia stanu zawartości wapnia i siarki w glebie. W drugiej kolejności ustala się potrzeby uprawianej rośliny lub sekwencji dwóch kolejnych roślin. To drugie zadanie wynika z faktu, że proces uwalniania składników z nawozu zachodzi w sposób ciągły i niebezpieczeństwo wymywania obu składników, a więc wapnia (Ca^{2+}) i siarki w formie anionu siarczanowego (SO_4^{2-}) jest małe.

Zalecane dawki nawozu **AgroSulCa®** zapewniają sprawne pobieranie magnezu (Mg^{2+}) i potasu (K^+). *Nie mniej ważny jest fakt, że pomimo tego, że **AgroSulCa®** nie jest nawozem odkwaszającym glebę, to zawarte w produkcie wapń i siarka ograniczają działanie toksycznego glinu.* Nie mniej ważne jest także to, że nie wywołuje zjawiska zwanego zasoleniem. Produkt ten jest wręcz zalecany do ograniczenia zasolenia.

Dawka nawozowa **AgroSulCa®** uwzględnia z jednej strony pokrycie zapotrzebowania roślin na siarkę i wapń, a z drugiej strony ogranicza niekorzystne działanie toksycznego glinu.

Uwzględniając podane powyżej wymogi i ograniczenia, system nawożenia nawozem AgroSulCa® opracowano dla sekwencji roślin uprawnych, zakładając działanie obu składników w cyklu dłuższym niż jeden sezon wegetacyjny. Najczęściej stawiane producentowi nawozu pytanie sprowadza się do określenia warunków efektywnego wpływu na roślinę, zakładając wielkość plonu i poprawę jego jakości technologicznej. Obszary działania się wielorakie, zależnie od kategorii agronomicznej gleby.

Gleby bardzo lekkie

Cel stosowania:

Ograniczenie działania czynników stresogennych oraz dostarczenie składników zapewniających uprawianym roślinom warunki do optymalnego wzrostu we wczesnych fazach rozwoju.

1. Gleby bardzo lekkie są podatne na zakwaszenie; oba składniki zmniejszają, co najmniej przejściowo, presję toksycznego glinu.
2. Oba składniki występują w tych glebach w ilościach deficytowych, co ogranicza wzrost systemu korzeniowego uprawianych roślin, a tym samym zwiększa ich podatność na stresy w czasie niedoboru wody – suszy.
3. Wapń i siarka są niezbędne dla mikroorganizmów, a tym samym po zastosowaniu nawozu AgroSulCa® wzrasta aktywność biologiczna gleby, co przekłada się na większe tempo mineralizacji resztek roślinnych, traktowanych jako źródło składników pokarmowych i próchnicy.
4. Optymalny termin stosowania nawozu pod rośliny ozime wykonuje się pod orkę siewną. Pod rośliny jare nawóz stosuje się wiosną. Optymalny układ następstwa roślin obejmuje rośliny, które przebywają na polu w okresie lata:

   a) roślina strączkowa –> zboże;

   b) ziemniaki –> zboże.

Gleby lekkie

Cel stosowania:

Efektywna uprawa roślin intensywnych poprzez podniesienie potencjału produkcyjnego gleb słabych.

W polskich warunkach gospodarczych gleby lekkie dominują i są bardzo intensywnie eksploatowane przez rolników. Uprawa gatunków wymagających, a do takich należą rzepak ozimy, buraki cukrowe, a także pszenica wymaga od rolnika przygotowania stanowiska, nie tylko o uregulowanym odczynie czy też zasobności w fosfor, potas i magnez, lecz także w siarkę. W tabeli 2.4 podano zapotrzebowanie roślin uprawnych na wapń i siarkę. Optymalny termin zastosowania nawozu AgroSulCa® pod rośliny ozime przypada na okres tuż po żniwach, najlepiej pod pierwszy zabieg uprawowy. Nawóz należy intensywnie wymieszać z glebą, możliwe na jak największą głębokość w taki sposób, aby rośliny w pierwszym okresie wzrostu efektywnie pobierały wapń, a wiosną siarkę. Alternatywny termin stosowania przypada na jesień, a nawóz stosuje się pogłównie. Pod rośliny jare pierwszy termin stosowania przypada na okres po żniwach lub pod orkę przedzimową. W systemach bezorkowych nawóz stosuje się natychmiast po zbiorze przedplonu. Stosując nawóz wiosną pod rośliny pozostające na polu latem, wskazane byłoby uwzględnić także roślinę następczą, zwłaszcza gdy to jest rzepak.

Tabela 2.4. Nagromadzenie jednostkowe wapnia i siarki przez podstawowe rośliny uprawy polowej, kg t^{-1} (plonu głównego + odpowiednia ilość w plonie ubocznym)

Roślina uprawna[1]	Pobranie Ca z plonem kg t^{-1}	Pobranie S z plonem kg t^{-1}
Rzepak	40–60	15–20
Buraki cukrowe	1,5–2,0	0,8–1,2
Ziemniaki	1,0–1,2	0,5–0,8
Pszenica	4–5	3,5–4,5
Kukurydza na ziarno	6–7	3–5
Jęczmień jary	5–6	4–5
Mieszanka zbożowa	5–6	3–4
Żyto, pszenżyto	3–5	3–4
Owies	4–6	3–4
Kapusta biała	40–50	1–1,4
Pomidory	2–2,5	1–1,5
Cebula	1,5–2,5	1,0–1,5
Bobik, bób	25–35	6–8
Łubiny, grochy	20–23	6–8
Lucerna (siano)	18–22	3,5–4,5
Koniczyna (siano)	10–12	3–4
Trawy kośne, łąkowe	9–11	2–3

Gleby średnie

Cel stosowania nawozu:

Optymalizacja wykorzystania azotu – głównego czynnika warunkującego realizację potencjału uprawianych roślin.

W uprawie roślin intensywnych, a takie uprawia się w Polsce na glebach średnich, potencjał uprawianych odmian (poziom A2 wg COBORU) winien być wykorzystany w 80–90%. Takie założenie wymaga wysoce racjonalnej gospodarki składnikami pokarmowymi, które muszą równoważyć duże dawki stosowanego azotu. Celem praktycznym stosowania siarczanu wapnia jest zabezpieczenie potrzeb uprawianych roślin w głównym okresie krytycznym, a taki w grupie roślin ziarnkowych (zboża, rzepak, strączkowe) rozpoczyna się od kwitnienia i trwa aż do końca wegetacji. Odpowiedni poziom zawartości obu składników wspomaga aktywność korzeni i sprawne pobieranie azotu, co w dalszej kolejności warunkuje ilość i jakość plonu.

Optymalny termin stosowania nawozu przypada na okres od zbioru przedplonu, co jest wskazane pod rośliny ozime, po orkę przedzimową pod rośliny jare. W roślinach ozimych nawóz można też z powodzeniem stosować pogłównie, oczywiście na terenach płaskich, aby nie stracić składników w wyniku zmycia czy też erozji. W oziminach najlepiej nawóz stosować pod dwie kolejne rośliny, przykładowo:

rzepak –> pszenica
pszenica –> rzepak

Ta druga sekwencja roślin jest wysoce optymalna, gdyż nawóz w sposób naturalny zostanie wymieszany w glebie.

W uprawie roślin jarych wczesnych w rachubę wchodzi głównie okres letnio-jesienny. W przypadku, gdy po jarych wysiewa się oziminę, wskazane jest zastosowanie nawozu w dawce uwzględniającej obie rośliny. W grupie roślin jarych późnych dobrym terminem stosowania jest także wiosna.

Gleby ciężkie

Cel stosowania nawozu:

Poprawa właściwości fizycznych gleby jako warunek optymalizacji środowiska wzrostu uprawianych roślin.

Gleby prezentują największy potencjał produkcyjny, lecz pod warunkiem dobrej struktury gleby. W większości gleby te, zwane minutowymi, są trudne w uprawie, a plony zawodne. **AgroSulCa®** posiada jedną bardzo ważną cechę, a mianowicie w trakcie rozpuszczania uwalniający się wapń wypycha z glebowego kompleksu sorpcyjnego potas i sód. W ten sposób dochodzi do poprawy struktury gleby, co naturalnie zwiększa ilość powietrza w glebie, a to z kolei stymuluje aktywność mikroorganizmów glebowych.

Stosowanie nawozu **AgroSulCa®** na gleby ciężkie ma za główny cel poprawę struktury gleby, a więc dawki nawozu muszą być kilkakrotnie większe od niezbędnych do pokrycia potrzeb pokarmowych uprawianych roślin, głównie zbóż. Termin stosowania wypada bezwzględnie na okres pożniwny. Wskazane jest częste, a do tego głębokie wymieszanie nawozu z glebą.

Poza głównym celem stosowania **AgroSulCa®**, jakim jest pokrycie potrzeb nawozowych, nawóz ten można wykorzystać, realizując także inne zadania mające na celu poprawę funkcji gleby.

Kontrola toksycznego glinu. **AgroSulCa®** nie odkwasza gleby, lecz efektywnie kontroluje aktywność toksycznego glinu. Nawóz ten zaleca się do stosowania w sytuacji, gdy nie dysponujemy czasem agrotechnicznym na wapnowanie pola.

Kontrola zasolenia. W uprawie warzyw, stosując duże dawki nawozów, doprowadza się do stanu zasolenia fizjologicznego. Nawóz **AgroSulCa®** pozwala na co najmniej częściowe osłabienie tego efektu.

Łąki na glebach organicznych. Odczyn gleby łąk organicznych jest z natury kwaśny, a wapnowanie mało skuteczne, gdyż wapń ulega szybkiemu wymyciu. **AgroSulCa®** ze względu na powolne uwalnianie składników pozwala na pokrycie potrzeb pokarmowych roślin.

Poprawa ogólnych właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych gleby jako środowisko wzrostu roślin uprawnych, w tym:

- poprawa struktury gleby – mniejsza zwięzłość, zaskorupienie –> lepsze wschody,
- lepsza, mniej energochłonna praca narzędzi uprawowych,
- lepsza infiltracja wody w glebę –> mniejsza erozja,
- wzrost głębokości ukorzenia się roślin –> lepsze wykorzystanie wody i azotu,
- mniejsze zanieczyszczenie ziemniaków i warzyw korzeniowych ziemią,
- poprawa jakości płodów, zwłaszcza warzyw –> więcej wapnia, białka,
- wzrost odporności na patogeny –> poprawa zdrowotności roślin.

Siarka

Siarka w łańcuchu pokarmowym

Rośliny uprawne pobierają siarkę w trzech różnych formach, a mianowicie jonu siarczanowego (SO_4^{2+}), dwutlenku siarki (SO_2), siarkowodoru (H_2S). Pierwszą z tych form rośliny pobierają za pomocą systemu korzeniowego z roztworu glebowego. Zdolność do wchłaniania cieczy zawierającej siarczany mają także liście. Pozostałe formy siarki pobierane są tylko przez liście, lecz ich znaczenie gospodarcze jest ograniczone, a w nadmiarze są toksyczne dla roślin uprawnych.

Siarka jest niezbędna dla prawidłowego wzrostu roślin, zwierząt i człowieka. Rośliny dobrze odżywione siarką dostarczają dla zwierząt paszę o odpowiedniej jakości, a tym samym zwierzęta produkują bogate w siarkę produkty, jakimi są jaja i mięso. Trzoda chlewna do wzrostu korzysta tylko z organicznych źródeł siarki, bogatych w aminokwasy siarkowe, biotynę i tiaminę, gdyż innych nie przyswaja. Wymagana zawartość aminokwasów siarkowych w paszy dla trzody chlewnej waha się od 0,3 do 0,8%, a bydła 0,1–0,2% s.m. Niedobór siarki zakłóca pracę organizmu i hamuje jego wzrost. Rośliny paszowe bogate w siarkę to krzyżowe, dostarczające po wytłoczeniu tłuszczu z nasion makuchy czy też śruty. Łuszczyny rzepaczane są dobrym źródłem siarki dla owiec, gdyż poprawiają jakość wełny.

Siarka stanowi 0,25% masy ciała dorosłego człowieka, którego dzienne zapotrzebowanie kształtuje się na poziomie 1000 mg, przy mniej więcej takiej samej ilości wydalanej z organizmu. Człowiek dla prawidłowego wzrostu i funkcjonowania wymaga zaopatrzenia w organiczne związki siarki w odpowiedniej ilości i jakości. Największe zapotrzebowanie na siarkę wykazują niemowlaki. Jest ono 2-krotnie większe od potrzeb 2-latka i 4-krotnie większe od potrzeb człowieka dorosłego. Produkty spożywcze bogate w siarkę to głównie warzywa, takie jak: brokuł, brukselka, cebula, czosnek, a także nasiona roślin strączkowych.

Siarka w glebie

W glebie siarka występuje w wielu postaciach (ryc. 3.1). Podstawowym dla rośliny zasobem są związki mineralne, obecne w roztworze glebowym, określane mianem siarki mineralnej (pula nr 1) . Wielkość tego zasobu można zmierzyć, oznaczając zawartość siarki siarczanowej ($S\text{-}SO_4$). W hierarchii potencjalnych zasobów siarki przyswajalnej formami pierwotnymi są minerały, wśród których dominują siarczki (piryt (FeS_2), pirotyn (FeS) (pula nr 2). Związki te podlegają systematycznemu, lecz powolnemu utlenianiu, pozostawiając w glebie siarczany i kationy pierwiastków śladowych, przykładowo żelaza, które jest niezwykle cennym składnikiem mineralnym roślin uprawnych. Z uproszczonego schematu utleniania siarczków w glebie, do czego niezbędne są wyspecjalizowane mikroorganizmy, wynika, że procesy te prowadzą do zakwaszania gleby, przyczyniając się tym samym do uruchomienia mikroskładników. Rola związków mineralnych naturalnych dla gleby w warunkach glebowo-klimatycznych Polski jest niewielka. Kluczową rolę jako dostarczyciela siarki do puli mineralnej odgrywa próchnica wraz z resztkami roślinnymi, czy też nawozami naturalnymi wprowadzanymi do gleby (3). W glebach mineralnych około 90% zawartej w nich siarki występuje w postaci różnorodnych połączeń organicznych. Procesy uwalniania siarki mineralnej z połączeń organicznych są bardzo skomplikowane, gdyż zachodzą przy udziale mikroorganizmów. Tempo mineralizacji siarki organicznej w glebie zależy w pierwszej kolejności od aktywności mikroorganizmów glebowych, warunkowana jest trzema cechami gleby środowiskowymi:

- temperaturą; optymalne warunki termiczne występują między 20 a 35°C;

- wilgotnością, optymalna wilgotność gleby dla mineralizacji obejmuje zakres tzw. polowej
- pojemności wodnej gleby (PPW, czyli w zakresie 60–75% całkowitej pojemności polowej gleby)
- odczynem; optymalny od 5,5 do 8,5.

Optymalne warunki termiczne w Polsce pojawiają się dopiero latem, jednakże ilość uwolnionej siarki zależy od rozkładu opadów. Tylko przy dużym uwilgotnieniu gleby, co warunkuje rozkład opadów, zachodzi intensywne uwalnianie siarki mineralnej, zarówno z próchnicy, lecz głównie z resztek roślinnych i nawozów naturalnych czy też organicznych. Nie mniej ważnym czynnikiem jest pH gleby oraz ogólna żyzność gleby. Wzrost pH gleby prowadzi do dużego namnażania się bakterii, co tym samym przyspiesza tempo mineralizacji materii organicznej gleby (org):

$$C_{org} \rightarrow CO_2 + H_2O \rightarrow H^+ + HCO_3^-$$
$$S_{org} \rightarrow SO_2 + 1/2\ O_2 + H_2O \rightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$$

W procesie tym poza jonem siarczanowym i uwolnionymi kationami składników mineralnych pojawia się jon wodorowęglanowy (HCO_3^-) oraz protony (H^+). Pierwszy z produktów, jako dominujący w procesie rozkładów, tworzy rozpuszczalne związki z kationami jedno- i dwuwartościowymi, migrujące następnie w głąb profilu glebowego.

Rola uwolnionych protonów jest wieloraka, gdyż

I) prowadzi do uwolnienia kationów zasadowych (K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}) z glebowego kompleksu sorpcyjnego,

II) prowadzi do uwolnienia składników mineralnych ze związków nierozpuszczalnych,

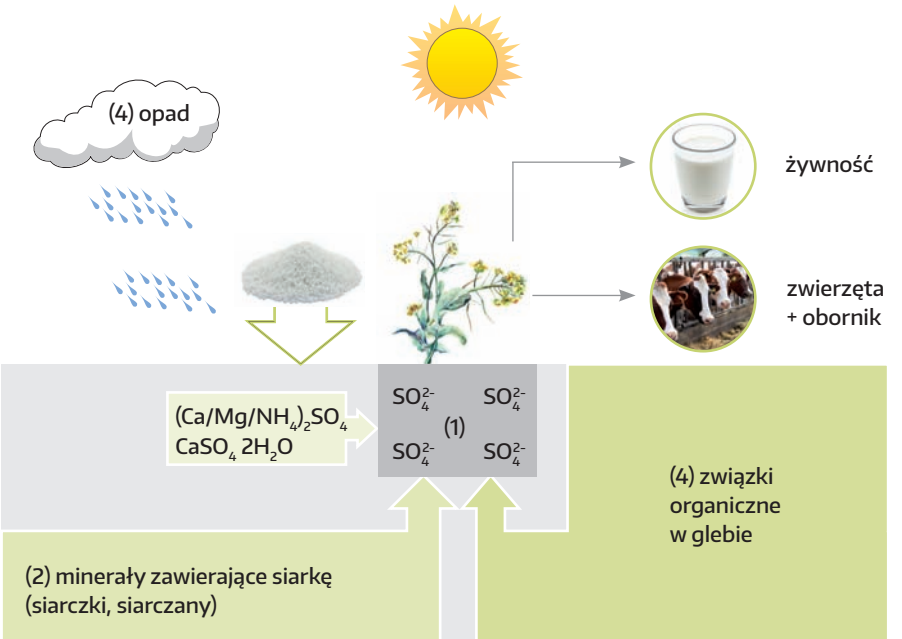
III) zwiększa tempo rozpuszczania soli siarczanowych, zwłaszcza AgroSulCa.

Procesy mineralizacji zachodzące latem sprzyjają uwalnianiu siarki i wapnia z nawozu **AgroSulCa®**. Tym samym nawóz zastosowany pod rośliny jare, takie jak: buraki cukrowe, ziemniaki, kapusta czy też kukurydza efektywnie pokrywa potrzeby pokarmowe roślin przebywających na polu latem.

Zasobem odnawialnym próchnicy glebowej są resztki roślinne i plony uboczne (słoma, liście, nać), a także nawozy naturalne (obornik, gnojówka, gnojowica). Tempo ich rozkładu silnie zależy od stosunku C:S (tab. 3.1). Bogate w siarkę są resztki pożniwne roślin z rodziny *Brassicaceae* (kapustowate, krzyżowe) o stosunku C:S około 40(60):1. Znacznie uboższe są rośliny z rodziny *Fabaceae* (motylkowate), dla których stosunek C:S w młodych kształtuje się w zakresie węższym od 160:1. W tej samej grupie znajdują się liście buraków cukrowych. Zdecydowanie najszerszym stosunkiem C:S, gdyż powyżej 160:1, charakteryzują się resztki pożniwne zbóż (słoma), ziemniaków (nać ziemniaczana) oraz kukurydzy. Ten rodzaj resztek pożniwnych, dominujących w Polsce, wywołuje zjawisko biologicznego uwsteczniania siarki mineralnej w glebie.

Tabela 3.1. Kierunek przemian siarki w glebie zależnie od zawartości czy też stosunku C:S w materii organicznej wnoszonej do gleby

Zawartość S w materii organicznej, % S s.m.		
> 0,50	0,25–0,50	< 0,25%
Stosunek C:S		
< 80	80–160	>160
mineralizacja	krótkotrwała stabilizacja	biologiczne uwstecznienie
resztki pożniwne rzepaku, gorczycy białej	liście buraków cukrowych, nawozy zielone roślin strączkowych	słoma roślin strączkowych, słoma zbóż, łęciny ziemniaków



Ryc. 3.1. Źródła i krążenie siarki w środowisku

Obecne w roztworze glebowym jony siarczanowe podlegają kilku istotnym procesom (ryc. 3.1), gdyż są:

a. pobierane przez rośliny;

b. wiązane przez mikroorganizmy glebowe – biologiczne uwstecznianie;

c. wymywane; proces ten zachodzi intensywnie w glebach o odczynie obojętnym;

d. wiązane przez cząstki gleby; proces, zwany sorpcją, zachodzi w glebach kwaśnych i lekko kwaśnych;

e. wytrącane w glebach o odczynie zasadowym:

$$Ca^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow \downarrow CaSO_4$$

Zjawisko, znane jako biologiczne uwstecznianie siarki, zachodzi w warunkach, gdy stosunek C:S w resztkach roślinnych czy też nawozach naturalnych jest szerszy niż 1:160. W takiej sytuacji mikroorganizmy pobierają siarkę z roztworu glebowego, prowadząc tym samym do ubytku składnika w roztworze glebowym. W konsekwencji tego procesu pula składnika dostępna dla rośliny uprawnej ulega redukcji. Proces ten o charakterze przejściowym jest pożądany w stanowiskach na glebach lekkich i w regionach o dużych opadach w okresie jesienno-zimowym. Drugą, bezpośrednią przyczyną strat siarki z gleb uprawnych jest wymywanie siarki siarczanowej. Proces ten zachodzi w stanowiskach o uregulowanym odczynie w okresie braku roślinności i przy jednocześnie dużych opadach atmosferycznych. Z takim zjawiskiem atmosferycznym w Polsce mamy do czynienia w okresie późnej jesieni, łagodnej zimy oraz wczesnej wiosny.

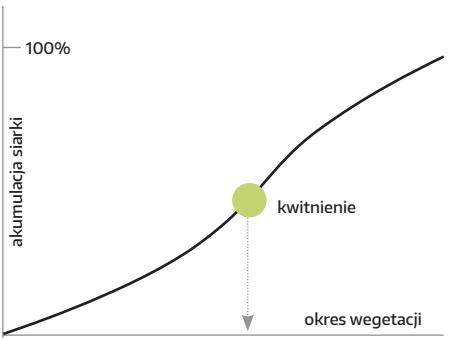
Siarka w roślinie

Pobieranie siarczanów

Rośliny pobierają siarkę z gleby przez cały okres wegetacji. Krytyczne okresy akumulacji wynikają z zapotrzebowania rośliny na ten właśnie składnik i na azot. Pierwszy krytyczny okres przypada na fazy formowania się struktury rośliny, gdy wykształcają się liście. Drugi jest związany z powstawaniem plonu (ryc. 3.2). Na uwadze trzeba też mieć jeszcze to, że w okresie dojrzewania remobilizacja siarki z części wegetatywnych do plonu użytkowego kształtuje się na poziomie wysoce umiarkowanym. W tym okresie głównym źródłem składnika jest gleba, w związku z czym zasoby składnika w formie mineralnej w glebie stanowią o stanie odżywienia rośliny.

Rośliny uprawne nie pobierają nadmiernych ilości siarki, a stan ich bieżącego odżywienia zależy od koncentracji składnika w roztworze glebowym oraz stanu odżywienia roślin. O prawidłowym zaopatrzeniu rośliny uprawnej w siarkę decydują trzy grupy czynników:

1. warunki wegetacji – siedlisko i środowisko;
2. ogólny stan odżywienia;
3. agrotechnika.



Rys. 3.2. Uproszczony schemat akumulacji siarki przez rośliny uprawne w okresie wegetacji

Rola środowiska jest podstawowa, gdyż określa naturalny potencjał gleby do produkcji siarczanów, a także warunki ich pobierania przez uprawianą roślinę. W tej grupie podstawową rolę odgrywa kategoria agronomiczna gleby i zawartość próchnicy:

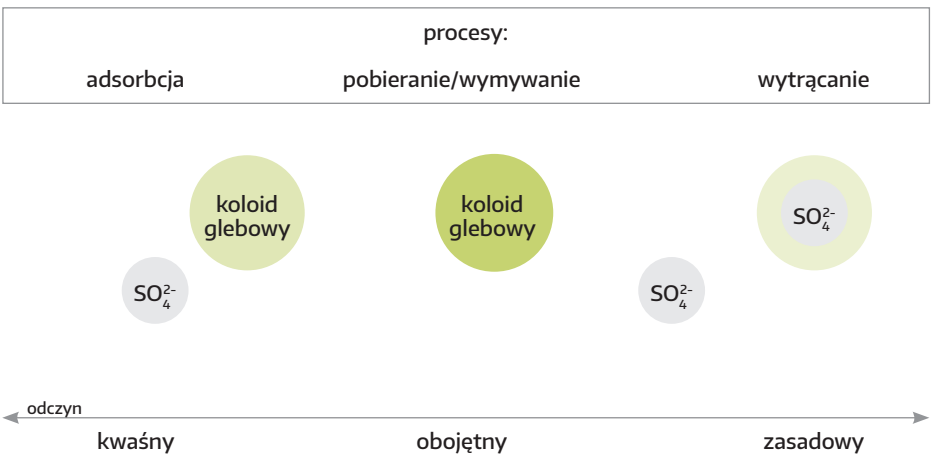
1. im mniej próchnicy w glebie, tym ilość siarki mineralnej uwolnionej w okresie wegetacji jest mniejsza;
2. wprowadzanie do gleb ubogich w próchnicę dużej masy resztek roślinnych, ubogich w siarkę (słoma zbóż, kukurydza) prowadzi do uwstecznienia siarki mineralnej;
3. gleby piaszczyste, ubogie w próchnicę, zawierają mało siarki, a ponadto składnik ulega łatwemu wymywaniu;
4. gleby o dużej zawartości części ilastych (cząstki mniejsze od 0,002 mm) wiążą duże ilości $S\text{-}SO_4^{2-}$, zwłaszcza w warunkach, gdy pH kształtuje się na poziomie poniżej 6,0.

Druga grupa czynników, związana z odczynem gleby, wpływa na pulę składnika dostępną dla rośliny w okresie wegetacji, a także w okresie jesienno-zimowym (rys. 3.3). Optymalny odczyn gleby, w którym siarczany są najbardziej dostępne dla rośliny, mieści się w zakresie 5,5–7,2. Jednakże w tym zakresie pH składnik ten jest narażony na wymycie, o skali zależnej od opadów od późnej jesieni po wczesną wiosnę. Spadek odczynu poniżej pH 5,5 ma trojakie skutki dla gospodarki siarką siarczanową w glebie:

1. część zasobów składnika ulega adsorpcji na cząstkach koloidalnych gleby (zjawisko odwracalne po zwapnowaniu gleby);
2. system korzeniowy podlega redukcji, tym silniej, im odczyn gleby jest mniejszy; część puli siarczanów pozostaje poza zasięgiem systemu korzeniowego;
3. pula siarczanów, znajdująca się poza zasięgiem korzeni, ulega wymyciu.

Intensywne wapnowanie gleby, to znaczy ponad zakres optymalny dla gleby (wg kategorii agronomicznej) prowadzi do wytrącenia się siarczanów. Przywrócenie tej puli siarki do dyspozycji rośliny wymaga jej wtórnego zakwaszenia. Rośliny motylkowate i rzepak posiadają taką zdolność.
Potrzeby pokarmowe rośliny uprawnej i stan jej odżywienia odgrywają istotną rolę w pobieraniu siarki. W tym zakresie należy zwrócić uwagę na kilka istotnych czynników:

1. wapń w glebie; niedobór wywołuje ograniczenie wzrostu korzeni; nadmiar prowadzi natomiast do uwstecznienia siarczanów;
2. fosfor, magnez; pobieranie siarki jest procesem energetycznym; składniki te są odpowiedzialne za dynamikę pobierania; niedobór spowalnia procesy akumulacji i transformacji siarki w roślinie;



Ryc. 3.3. Kierunki transformacji siarki siarczanowej w glebie o wzrastającym pH

3. fosfor, molibden; nadmiar ogranicza pobieranie siarczanów w glebach o odczynie optymalnym;
4. azot; niedobór zmniejsza szybkość procesu redukcji siarczanów w roślinie.

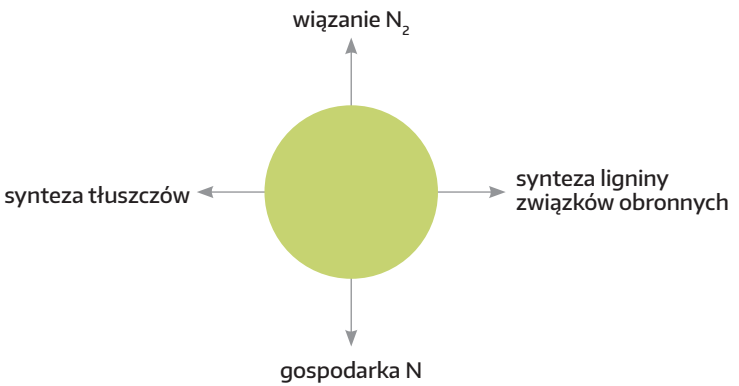
Rolę czynników agrotechnicznych należy rozważać w kategoriach kształtowania:

1. ogólnych warunków wzrostu rośliny – siedlisko:
   - środowisko fizyczne wzrostu korzeni,
   - kontrola odczynu i zasobności w składniki pokarmowe;
2. bieżącej kontroli stanu odżywienia rośliny azotem i pozostałymi składnikami;
3. następstwo roślin – gospodarka siarką w zmianowaniu.

Funkcje siarki w roślinie

Siarka jest jednym z 13 podstawowych składników decydujących o wzroście, produkcji biomasy i reprodukcji roślin. Pierwiastek ten jest składnikiem wielu enzymów i związków organicznych, obecnych w roślinie. Ze względu na złożoność funkcji siarki ujmuje się w czterech grupach (ryc. 3.4). Pierwsza grupa procesów jest podstawowa dla funkcjonowania świata ożywionego. Wiązanie azotu atmosferycznego przez rośliny motylkowate stanowi źródło pierwotnej akumulacji azotu w formie organicznej w glebie. Siarka wespół z żelazem i molibdenem decyduje o funkcjonowaniu mechanizmu wiązania N_2 przez rośliny motylkowate. Niedobór siarki w roślinie zmniejsza wydajność procesu redukcji N_2, co tym samym rzutuje ujemnie na produkcję nasion (rośliny strączkowe) czy też paszy (lucerna, koniczyna). Działanie siarki zależy od stanu odżywienia wymienionych roślin innymi składnikami, w tym żelazem, molibdenem, fosforem, a także wapniem i potasem.

Siarka jest niezbędnym składnikiem w procesie redukcji azotanów w roślinie, jako podstawowy warunek syntezy aminokwasów, a następnie białek. Siarka pozostaje, zależnie od gatunku roślin, jej fazy rozwojowej w stałej relacji do azotu. Niedobór jednego ze składników, a w realiach gospodarczych jest to najczęściej siarka prowadzi do: I) redukcji ilości pobieranego azotu z gleby, II) zmniejszenia tempa wzrostu rośliny, III) nagromadzania się amidów i białek niskocząsteczkowych – zwiększa się tym samym podatność rośliny na atak patogenów, IV) zmniejsza produkcję białka przez roślinę. Związkami ograniczają-



Ryc. 3.4. Podstawowe grupy funkcji siarki w roślinie

Tabela 3.2. Choroby roślin uprawnych kontrolowane przez siarkę[1]

Roślina gospodarz	Choroba	Patogen
Pszenica	Rdza żółta pszenicy	*Puccinia striiformis*
	Mączniak prawdziwy	*Erysiphe graminis*
Ziemniaki	Parch ziemniaka	*Streptomyces scabies*
	Zaraza ziemniaka	*Phytophthora infestans*
	Rizoktonioza	*Rhizoctonia solani*
Rzepak	Zgorzel siewek	*Alternaria brassicae*
	Zgnilizna twardzikowa	*Sclerotinia sclerotiorum*
Buraki cukrowe	Brunatna plamistość liści	*Ramularia beticola*
Krzyżowe, ogółem	Kiła kapusty	*Plasmodiophora brassicae*
Groch	Zgnilizna korzenia	*Aphanomyces euteiches*

[1] na podstawie Datnoff i in., (2007)

cymi syntezę białek w roślinie są dwa aminokwasy siarkowe: cysteina i metionina.
Trzecia grupa funkcji siarki w roślinie wiąże się z syntezą tłuszczów. Siarka jest niezbędnym składnikiem do inicjacji procesu syntezy tłuszczów. Kolejną grupą funkcji siarki w roślinie jest synteza związków, warunkujących odporność roślin na presję patogenów (tab. 3.2).

Siarka: plony i jakość

Wielkość i jakość (konsumpcyjna, paszowa, przetwórcza) uzyskanego plonu są wypadkową działania samej siarki i jej współdziałania z pozostałymi składnikami pokarmowymi w krytycznych fazach formowania plonu i dojrzewania roślin. Wzrost plonu należy zawsze rozpatrywać poprzez efektywność zastosowanego azotu. Im stan odżywienia rośliny siarką jest bliższy optimum, tym działanie azotu (plon wytworzony przez jednostkę pobranego azotu) jest większe. Tym samym poprzez optymalizację odżywienia rośliny siarką można zwiększyć wykorzystanie azotu z nawozów. Drugim aspektem produkcyjnym jest jakość plonu, której poprawa zależy od zaopatrzenia w azot, warunkowana pozostałymi składnikami, w tym siarką. W praktyce takie postępowanie oznacza mniejsze dawki azotu, pod warunkiem optymalnego zaopatrzenia uprawianej rośliny w siarkę. Nie mniej ważny jest fakt, że siarka stymuluje produkcję związków obronnych, które zmniejszają presję patogenów, a tym samym zmniejszają zapotrzebowanie na pestycydy (patrz tab. 3.2).

Plonotwórcze działanie siarki przejawia się poprzez:

ZBOŻA:

- większe tempo początkowego wzrostu (do końca krzewienia), bo więcej pobranego azotu;
- więcej kłosów na jednostkę powierzchni, więcej ziarniaków w kłosie, bo więcej pobranego azotu w fazie kłoszenia;
- więcej białka w ziarnie, bo większa remobilizacja azotu z części wegetatywnych zbóż w trakcie dojrzewania.

RZEPAK:

- lepsze przezimowanie, bo lepiej wykształcona tkanka mechaniczna, więcej skrobi w liściach;
- dynamiczny wzrost w okresie wiosennego ruszenia wegetacji, bo lepsze pobranie azotu;
- więcej pędów bocznych i kwiatów, bo większe pobranie azotu;
- więcej zawiązanych łuszczyn, bo kwiaty o intensywnie żółtej barwie przyciągają pszczoły;
- większa zawartość tłuszczów, gdyż siarka warunkuje ich syntezę.

STRĄCZKOWE:

- większe tempo wiązania N_2, bo siarka jest czynnikiem krytycznym; duży wigor wzrostu roślin, gdyż większe wiązanie azotu;
- więcej zawiązanych łuszczyn i nasion w łuszczynach;
- większa zawartość tłuszczów, gdyż siarka jest niezbędna w procesie syntezy.

OKOPOWE:

Lepsze wykorzystanie energii słonecznej we wczesnych fazach wegetacji, gdyż

- siarka warunkuje pobieranie azotu z gleby, zwiększa syntezę białek i produkcję biomasy;
- większy plon korzeni, gdyż siarka wydłuża okres wegetacji;
- większa zawartość cukru w korzeniach, gdyż siarka, zwiększając tempo przemian azotu, zmniejsza tym samym zawartość tzw. azotu szkodliwego;
- siarka zmniejsza porażenie roślin przez niektóre choroby: parch ziemniaczany (*Streptomyces scabies*); ospowatość bulw (*Rhizoctonia solam*).

WARZYWA:

- większe tempo wzrostu, gdyż siarka stymuluje procesy przemian azotu i produkcji biomasy;
- mniejsza zawartość azotanów, gdyż siarka, zwiększając tempo syntezy białek, zmniejsza pulę azotanów w roślinie;
- zwiększona produkcja związków cennych żywieniowo, takich jak karoten, witamina C, lecz także dotyczy: karotenu (wit. A), biotyny (H), tiamina (Bi);
- zwiększona zawartość błonnika;
- poprawa walorów smakowych i aromatyczności warzyw cebulowych: cebula, czosnek;
- zwiększona zawartość olejków eterycznych (cykloalliina – cebula i chrzan, allicyna – czosnek).

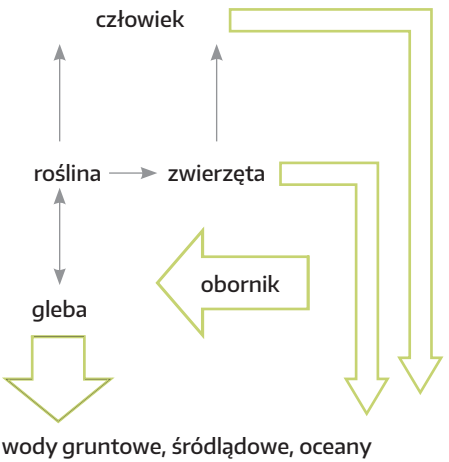
UŻYTKI ZIELONE:

- stymulacja procesów wiązania N_2 przez rośliny motylkowate pastewne, uprawiane w mieszankach z trawami lub rosnące na trwałych użytkach zielonych;
- zmniejszone zagrożenie azotanami w młodej runi, gdyż przyspiesza tempo przemian azotu, jednocześnie stymulując produkcję masy zielonej.

Wapń

Wapń w łańcuchu pokarmowym

Wapń jest czwartym pod względem zawartości pierwiastkiem w skorupie ziemskiej. Natomiast zawartość w glebie jest znacznie mniejsza, co wynika z dużej podatności tego składnika na wymywanie. Rośliny pobierają wapń z roztworu glebowego jako kation Ca^{2+}. Optymalny zakres zawartości wapnia w roślinie waha się od 0,1 do 1% s.m. Naturalnie bogate w wapń są rośliny dwuliścienne, a z uprawnych do głównych zalicza się rzepak, w drugiej kolejności rośliny motylkowate. W warunkach naturalnych zasobność gleby w wapń jest czynnikiem określającym dobór roślin oraz stan ich odżywienia. W produkcji rolnej gospodarkę wapniem reguluje się najczęściej poprzez wapnowanie, a rzadziej poprzez stosowanie nawozów zawierających ten składnik. W łańcuchu pokarmowym przepływ wapnia jest wielokierunkowy, jak przedstawiono na poniższym schemacie:



Ryc. 4.1. Ogólny schemat krążenia wapnia w środowisku

Rola wapnia w organizmie zwierzęcym jest nie do przecenienia. Pierwiastek ten jest dominującym składnikiem mineralnym, a jego zawartość waha się od 1,2 do 1,5% masy ciała, z czego 98% znajduje się w kościach i zębach. Odgrywa kluczową rolę w kontroli impulsów nerwowych, pracy serca, krzepnięciu krwi, gospodarce fosforem, żelazem, a u przeżuwaczy w produkcji mleka. Stąd też niedobór wapnia prowadzi do szeregu zaburzeń w procesach życiowych, a do najważniejszych należą zakłócenia wzrostu, prowadzące do karłowatości zwierząt. Krowy mleczne wykazują największe zapotrzebowanie na wapń tuż po wycieleniu i w trakcie laktacji. Warunkiem dobrego zaopatrzenia zwierząt w wapń jest dobra jakość pasz. Bogate w wapń są nasiona, głównie roślin strączkowych, krzyżowych (makuchy, śruty). W grupie pasz objętościowych cennym źródłem wapnia są lucerna, koniczyna, a ubogim trawy. Większość wapnia pobranego w paszach ulega wydaleniu w postaci kału, który podlega następnie klasycznemu, rolniczemu recyklingowi i trafia w formie obornika czy też gnojowicy z powrotem do gleby.

Człowiek, analogicznie jak zwierzęta, wymaga dobrego zaopatrzenia w wapń, który stanowi około 2% masy ciała. Większość, gdyż 97–99% składnika zawarta jest w kościach i zębach. Pozostała znajduje się w płynach ustrojowych, pełniąc analogiczne funkcje życiowe jak u zwierząt. Zapotrzebowanie dobowe człowieka dorosłego waha się od 700 do 1000 mg. Szczególnie wrażliwe na zaopatrzenie w wapń są dzieci i osoby dorosłe. W okresie intensywnego wzrostu organizmu niedobór wapnia wywołuje zaburzenia wzrostu, objawiające się krzywicą. Podstawowym źródłem wapnia dla człowieka jest mleko i produkty mleczne, a także mięso. W grupie produktów roślinnych, analogicznie jak dla siarki, domi-

nują nasiona, zwłaszcza roślin strączkowych i warzywa, takie jak: brokuł, jarmuż, kapusta, sałata, natka pietruszki, warzywa strączkowe. Wchłanianie wapnia jest silnie związane z zawartością witaminy D, którą dostarczają mleko, jaja, a także chleb. Witamina ta powstaje także samoistnie w skórze wystawionej na działanie słońca. Większość pobranego przez człowieka wapnia z pokarmem podlega wydaleniu, głównie z kałem. Tylko część składnika ulega recyklingowi, a większość trafia do wód rzecznych i dalej oceanicznych (ryc. 4.1).

Wapń w glebie

Zawartość całkowita wapnia w warstwie ornej gleb w Polsce mieści się w zakresie od 3600 do 11 700 kg CaO kg ha^{-1}. Najuboższe w składnik są obszary pokrywające Polskę środkową i południową. Na północy kraju zawartość wapnia w glebie jest zdecydowanie większa, gdyż kształtuje się średnio na poziomie 16 800 CaO kg ha^{-1}. W podglebiu zawartość składnika waha się od 6600 CaO kg ha^{-1} w przeważającej części kraju po 90 000 CaO kg ha^{-1} na Warmii i Mazurach. Stan zawartości wapna w glebach Polski jest krytyczny, a mniejsza zawartość CaO ogółem w warstwie wierzchniej w stosunku do podglebia wskazuje na duże wyczerpanie zasobów składnika zarówno w wyniku produkcji rolniczej, jak i wymywania, które nie jest dostatecznie kompensowane wapnowaniem.

W glebach pierwiastkiem dominującym w roztworze glebowym i w glebowym kompleksie sorpcyjnym jest wapń, Ca^{2+} (1) (ryc. 4.2). Zawartość tego pierwiastka jest duża i wzrasta wraz ze wzrostem zawartości cząstek koloidalnych w glebie. Podstawowym źródłem wapnia w roztworze glebowym są skały macierzyste, które zawierają szereg minerałów bogatych w wapń, obecnych w skałach węglanowych (kalcyt, dolomit), lecz głównie w minerałach ilastych pierwotnych (krzemianach, glinokrzemianach, węglanach, apatytach, gipsie). Związki te w glebie, w obecności kwasów, ulegają rozpuszczeniu, uwalniają wapń i inne, zależnie od składu chemicznego, składniki:

1. krzemiany:

$CaSiO_3 + 2H^+ \rightarrow Ca^{2+} + SiO_2 + H_2O$

2. węglany:

$CaCO_3 + H^+ \rightarrow Ca^{2+} + HCO_3^-$

3. gips

$CaSO_4 + 2H^+ \rightarrow Ca^{2+} + 2H^+ + SO_4^{2-}$

4. fosforyty:

$Ca_{10}(PO_4)_6F_2 + 12H^+ \rightarrow 10\ Ca^{2+} + 6\ H_2PO_4^- + 2\ F^-$

Jak zestawiono w tabeli 4.1 i 4.2 optymalna zawartość wapnia w glebowym kompleksie sorpcyjnym winna wynosić co najmniej 60% dla roślin tolerujących, a ponad 70% dla nietolerujących zakwaszenie. W glebach Polski zawartość cząstek koloidalnych jest mała, a tym samym wielkość kompleksu sorpcyjnego także mała. Przewaga opadów nad parowaniem w półroczu zimowym (listopad – marzec) prowadzi do naturalnego wzrostu zawartości kationów kwaśnych (H^+, Al^{3+}) z jednoczesnym spadkiem udziału kationów zasadowych, zwłaszcza wapnia (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+) (ryc. 4.2). W kolejnym etapie przemian wapnia w glebie dochodzi do związania jonów wapnia z jonem wodorowęglanowym, co prowadzi do jego wymycia:

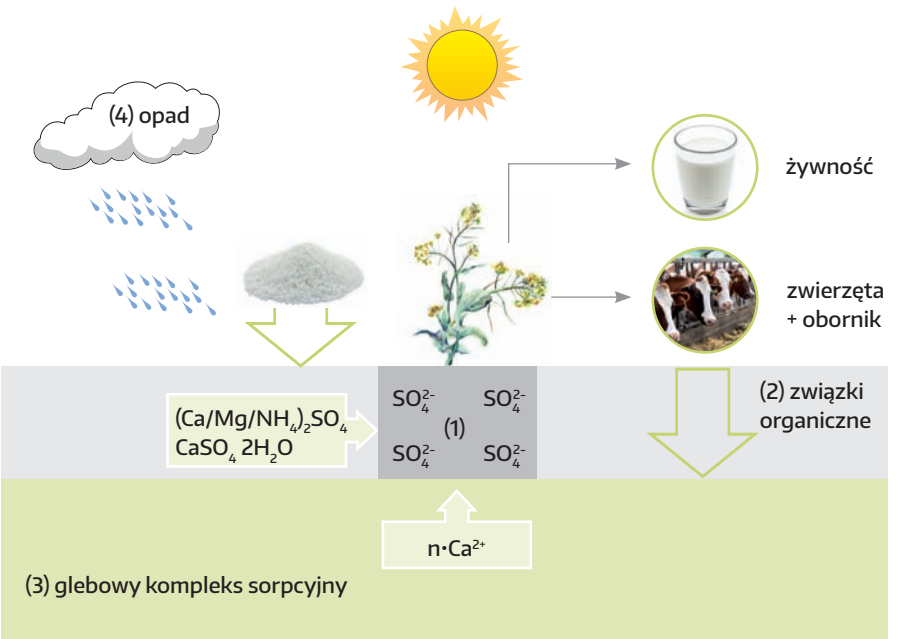
$Ca^{2+} + 2HCO_3^-\ Ca(HCO_3)_2$

Ubytek związanego Ca^{2+} z glebowego kompleksu sorpcyjnego jest silnym sygnałem, wskazującym na zakłócenie warunków wzrostu roślin uprawnych. Działanie tego czynnika ujawnia się wcześnie, jeszcze przed wyraźnym spadkiem odczynu gleby. Pogłębiający się ujemny bilans wapnia, co wynika z postępującego procesu zakwaszenia, prowadzi do dużych zmian w składzie kompleksu sorpcyjnego, w którym ubywają kationy zasadowe, a wzrasta udział kationów kwaśnych, niemających żadnej wartości dla roślin uprawnych (ryc. 4.3). Na niekorzystne działanie zachodzących zmian w warunkach Polski szczególnie wrażliwe są rzepak ozimy, buraki cukrowe, a także rośliny z rodziny motylkowatych.

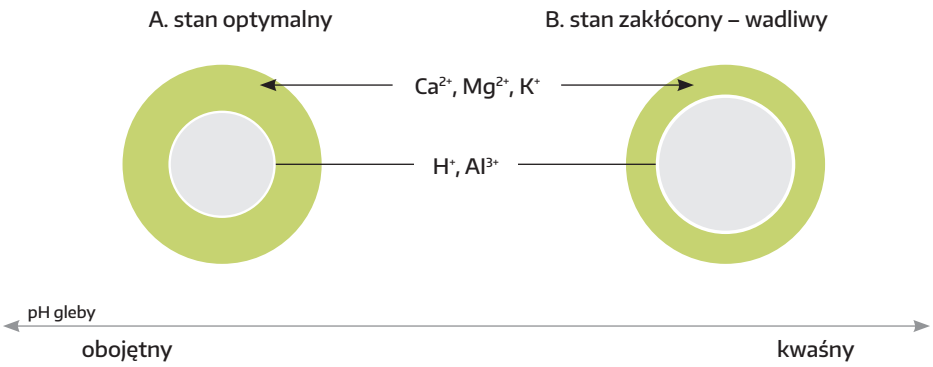
Tabela 4.1. Optymalny skład glebowego kompleksu sorpcyjnego[1]

Kationy	Gleby piaszczyste	Gleby gliniaste
Ca	60	60–70
Mg	20	10–20
K	6–8	2–5
Na	1	<3
H	11–13	10–15

[1] Schonbeck (www.vabf.org)



Ryc. 4.2. Źródła i krążenie wapna w środowisku



Ryc. 4.3. Reakcja glebowego kompleksu sorpcyjnego na zakwaszenie

Wapń w roślinie

Pobieranie

Wapń pobierany jest przez roślinę z gleby tylko w formie kationowej, jonu Ca^{2+} (ryc. 4.2). Ilość składnika zakumulowanego w roślinie, a zwłaszcza w korzeniu przekracza wielokrotnie jej potrzeby pokarmowe. Zdecydowanie więcej składnika pobierają i akumulują rośliny dwuliścienne, przykładowo rzepak, czy też strączkowe i motylkowe pastewne. Tak znaczna akumulacja w korzeniach wynika z kilku przyczyn. Po pierwsze wapń jest składnikiem blaszki środkowej komórek, czyli części anatomicznej rośliny odpowiedzialnej za integralność tkanek i całych roślin. Po drugie wapń zawarty w korzeniach jest naturalną rezerwą rośliny w okresie intensywnego wzrostu, a zwłaszcza w okresie dojrzewania, gdy możliwość pobierania wapnia z gleby jest bardzo ograniczona z powodu niewielkiego wzrostu korzeni w głąb profilu glebowego. Ta prawidłowość wskazuje na niezbędność składnika w glebie w formie łatwo dostępnej dla rośliny w okresie formowania się systemu korzeniowego. Oznacza to także, że składnik musi być zawarty w roztworze glebowym w ilości przekraczającej jej potrzeby pokarmowe. Po trzecie wapń zawarty w komórkach korzenia i w częściach nadziemnych spełnia ważną rolę ochronną, gdyż kontroluje co najmniej częściowo presję patogenów. O stanie zaopatrzenia rośliny w wapń decyduje nie tylko zawartość składnika w roztworze glebowym, lecz także warunki pogodowe. Silna transpiracja roślin wzmaga pobieranie wapnia, przez co może efektywnie, wespół z potasem kontrolować gospodarkę wodną rośliny, poprzez regulację pracy aparatów szparkowych.

Funkcje w roślinie

Rośliny uprawne potrzebują odpowiednich, zależnie od gatunku ilości wapnia (Ca^{2+}) (patrz tab. 4.2). Pierwiastek ten stanowi ważny składnik pokarmowy roślin uprawnych, głównie oleistych, motylkowych pastewnych i strączkowych. Objawy niedoboru wapnia są bardzo specyficzne. Na roślinach uprawy polowej objawiają się rzadko, aczkolwiek można je obserwować na pomidorach w postaci suchej zgnilizny wierzchołkowej. Częste objawy niedoboru wapnia pojawiają się na owocach, w postaci znanej jako gorzka plamistość podskórna i brunatnienie miąższu jabłek. Obecność wapnia w roślinie jest niezbędna do prawidłowego funkcjonowania rośliny, gdyż:

- zapewnia prawidłowy wzrost roślin; odpowiedzialny za procesy podziału komórek pączków wzrostu, zarówno korzeni, jak i pędów nadziemnych;
- reguluje tempo wzrostu systemu korzeniowego jako nośnik sygnałów hormonalnych;
- kontroluje gospodarkę azotową rośliny jako nośnik sygnałów hormonalnych;
- kształtuje formowanie się tkanek rośliny jako składnik blaszki środkowej komórek;
- zwiększa zdrowotność roślin, jako składnik blaszki środkowej komórek hamuje inwazyjność patogenów, głównie grzybów;
- kontroluje gospodarkę wodną rośliny, regulując wespół z potasem i chlorem dzienny rytm aparatów szparkowych;
- stymuluje zawiązywanie się brodawek korzeniowych przez rośliny strączkowe (grochy, bobik, łubiny, wyki) oraz motylkowe pastewne (koniczyny, lucerna).

Objawy niedoboru wapnia są wysoce specyficzne i przejawiają się:

a) zamieraniem stożka wzrostu korzeni i pędów nadziemnych;

b) skróceniem międzywęźli zbóż (zakłócenie podziałów komórek wzrostowych w węzłach zbóż), a także ujawnieniem specyficznych chorób zwanych suchą zgnilizną pomidorów;

c) pseudowiędnięcie fuzaryjne – rzepak.

Rośliny wskaźnikowe, wrażliwe na niedobór wapnia w glebie, nie reprezentują w Polsce zbyt szerokiej gamy gatunków, lecz są to jednocześnie gatunki ważne w produkcji roślinnej:

- uprawne: bobik, lucerna, **rzepak, jęczmień, burak cukrowy**, konopie;
- chwasty: gorczyca polna, nostrzyk żółty, ostróżeczka polna, owies głuchy.

Tabela 4.2. Poziom wrażliwości roślin na stopień wysycenia glebowego kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi i wapniami[1], %

Udział kationów zasadowych	Udział wapnia, Ca^{2+}	Poziom wrażliwości roślin
<45	<35	Zbyt niski dla większości roślin
45–65	35–55	Umiarkowany dla roślin tolerancyjnych na zakwaszenie
66–85	56–70	Optymalny dla roślin tolerujących zakwaszenie
>85	>70	Optymalny dla roślin nietolerujących zakwaszenia

[1] Grzebisz 2009 (za Mehlich, 1978)

Większość zbóż, poza jęczmieniem, toleruje niedostateczną zawartość wapnia w glebie, lecz zawsze kosztem obniżki plonu roślin cennych produkcyjnie i ekonomicznie (pszenica).

Funkcje plonotwórcze

Funkcje plonotwórcze wapnia, analogicznie jak siarki, wynikają z pełnionych funkcji podstawowych. Wzrost plonów jest wynikiem:

- poprawy warunków pobierania składników pokarmowych, zarówno poprzez stymulację wzrostu systemu korzeniowego, jak i transport składników z gleby do rośliny
- optymalizacji relacji między pobieraniem azotu a pozostałymi składnikami, określającymi efektywność azotu nawozowego
- poprawy stanu zdrowotnego rośliny, wynikającej zarówno ze zbilansowanego stanu odżywienia, jak i bezpośredniego ograniczania presji patogenów
- zwiększonej asymilacji N_2 w następstwie większej nodulacji korzeni roślin strączkowych i motylkowatych.

Skutki wzrastającego zakwaszenia gleb uprawnych

Toksyczny glin

Podstawowym skutkiem zakwaszenia gleby jest spadek odczynu (pH), który prowadzi do uruchomienia się związków toksycznych, głównie glinu i manganu. Związki te pojawiają się w glebie kwaśnej (pH < 5,5), lecz dopiero w glebie bardzo kwaśnej (< 4,5) pojawia się Al^{3+}, zagrażający funkcjonowaniu roślin uprawnych. Ujemny wpływ glinu na rośliny uprawne trzeba rozpatrywać w trzech grupach właściwości gleby:

BIOLOGICZNE:

- zahamowanie wzrostu korzeni, a tym samym redukcja systemu korzeniowego; wypadania roślin z pola – przerzedzenie łanów roślin uprawnych;

  skutki:

  – zredukowana objętość gleby eksplorowana przez korzenie, prowadząca do mniejszego pobrania azotanów i składników mało ruchliwych, takich jak fosfor i potas

  – wzrost ryzyka wymycia azotanów, a także siarczanów z gleby,

  – zmniejszona efektywność azotu z powodu niedoboru fosforu i potasu,

  – zmniejszona aktywność mikroorganizmów w glebie;

  skutki:

  – zredukowane tempo rozkładu materii organicznej;

  – ograniczona, a nawet zredukowana nitryfikacja > mniej azotu azotanowego w glebie,

  – mniejsza aktywność mikroorganizmów symbiotycznych, wiążących N_2.

CHEMICZNE:

- silne uwstecznienie fosforu,
- mniejsza zawartość wapnia i magnezu w glebowym kompleksie sorpcyjnym;
- uruchamianie się związków toksycznych, przykładowo metali ciężkich;

  skutki:

  – zwiększone ryzyko uwsteczniania fosforu z nawozów;

  – wolniejsze tempo pobierania azotu z nawozów;

  – wzrost pobierania niepożądanych składników przez rośliny – wzrost zagrożenia dla zdrowia człowieka;

FIZYCZNE:

- pogorszenie się struktury gleby;

  skutki:

  – mniejsza infiltracja wody opadowej;

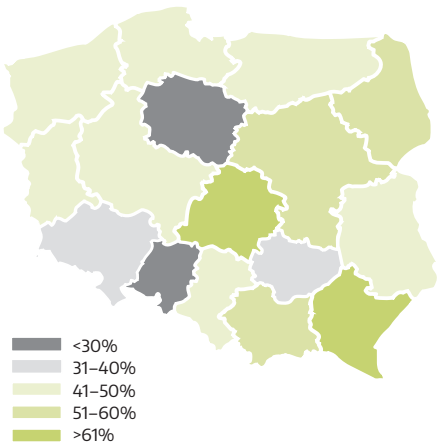
  – wzrost podatności gleby na zaskorupianie się;

  – słaby wzrost korzeni w glebie zagęszczonej.

Zakłócenie właściwości gleb uprawnych w każdym z wymienionych obszarów prowadzi do spadku żyzności, a tym samym ich produktywności. Gleby o odczynie kwaśnym, a zwłaszcza bardzo kwaśnym są zarówno rolniczo, jak i środowiskowo dysfunkcjonalne, wymagając natychmiastowej naprawy.

Stan zakwaszenia gleb w Polsce

Gleby uprawne w Polsce ze względu na to, że w większości powstały ze skał piaszczystych, cechuje duża, naturalna podatność na zakwaszenie. W ciągu roku z gleby wymywany jest wapń w ilości od 150 do 300 kg/ha. Potencjalne ryzyko wymycia wapnia wzrasta wraz z ilością opadów w okresie jesienno-zimowym, a także ze spadkiem udziału cząstek ilastych. Spadek pH gleby poniżej 5,5 stwarza warunki do pojawienia się kationowych form glinu, a poniżej 4,5 glinu Al^{3+}, który jest toksyczny dla organizmów żywych. W każdym regionie Polski, jak przedstawiono na ryc. 5.1, udział gleb o odczynie kwaśnym i bardzo kwaśnym przekracza 25%. Problem dla prawidłowego funkcjonowania rolnictwa pojawia się wówczas, gdy ponad 40% powierzchni gleb uprawnych nie spełnia warunków do efektywnej produkcji rolnej. Taki stan dominuje w 7 województwach, obejmujących zwarty obszar Polski północno-zachodniej oraz woj. śląskie i lubelskie. W kolejnych trzech województwach udział gleb dysfunkcjonalnych przekroczył 50%, a w dwóch – 60%. Wyłączając woj. świętokrzyskie, obszar gleb dysfunkcjonalnych obejmuje obszary Polski centralnej i wschodniej.



Ryc. 5.1. Udział gleb kwaśnych i bardzo kwaśnych – potencjalny stan zagrożenia toksycznym glinem (opracowano na podstawie GUS 2013)

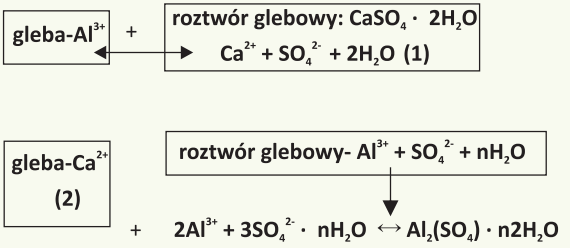
Kontrola toksycznego glinu

Podstawowym zadaniem rolnika jest neutralizacja toksycznego glinu, gdyż tylko w ten sposób można poprawić właściwości i funkcjonowanie gleb uprawnych, a tym samym przywrócić ich produktywność. Najprostszym sposobem rewitalizacji funkcji gleby jest systematyczne wapnowanie. Nie można tego dokonać, gdy rocznie z gleby ubywa od 200 do 300 kg CaO/ha, a średnia dawka wapna nawozowego pokrywa zaledwie 10–20% strat. W tym miejscu trzeba postawić pytanie: czy można kontrolować aktywność toksycznego gliny, stosując siarczan wapnia, a jest to składnik nawozu **AgroSulCa®**? Kontrola Al^{3+} jest możliwa, gdyż nawóz ten zawiera dwa składniki:

- **wapń** Ca^{2+}, który jest naturalnym antagonistą glinu;
- **siarkę** w formie siarczanowej SO_4^{2-}, która wiąże glin w związek o mniejszej rozpuszczalności.

AgroSulCa® rozpuszcza się powoli w wodzie glebowej i do roztworu glebowego docierają dwa składniki, wapń Ca oraz anion siarczanowy SO_4^{2-} (reakcja nr 1). Pierwszy z wymienionych składników wypiera na drodze wymiany jonowej toksyczny glin, Al^{3+} (2) do roztworu glebowego, w którym jest kompleksowany przez aniony siarczanowe (3). Powstały w tym procesie siarczan glinu pełni w roztworze glebowym rolę koagulanta, a więc może pośrednio stymulować procesy łączenia się poszczególnych cząstek gleby w agregaty, co tłumaczy specyficzny, dodatni efekt stosowanego gipsu na strukturę gleb ciężkich, zmniejszając ich podatność na zaskorupianie się. W ten sposób toksyczny glin podlega przynajmniej częściowemu wyłączeniu z roztworu glebowego.

Zachodzące w glebie procesy przedstawiają podane niżej równania i schematy



Diagnostyka potrzeb nawozowych

Diagnostyka potrzeb nawozowych uprawianej rośliny obejmuje kilka uzupełniających się procesów:

1. **Rozpoznanie wrażliwości rośliny na dany składnik mineralny;**
2. **Oznaczenie i ocena zawartości składnika przyswajalnego w glebie;**
3. **Określenie stanu odżywienia roślin w fazie/stadium krytycznym zapotrzebowania na dany składnik.**

Wrażliwość roślin uprawnych

Wrażliwość roślin uprawnych na siarkę i wapń jest dość zróżnicowana gatunkowo. Zdecydowanie łatwiej określić reakcję gatunkową roślin dla każdego składnika oddzielnie. Wydzielenie grup wspólnych jest trudne, gdyż wapń cechuje duża uniwersalność, a siarkę specyficzność wpływu na funkcjonowanie rośliny uprawnej (tab. 6.1).

Tabela 6.1. Wrażliwość roślin uprawianych na gruntach ornych na wapń i siarkę

Rośliny uprawne	Ca	S	Rośliny uprawne	Ca	S
Pszenica	+	++	Kapusty głowiasta	+++	+++
Jęczmień	++	++	Kapusta włoska	+++	++
Żyto, pszenżyto, owies	O	+	Kapusta brukselka	++	++
Kukurydza	+	+	Kalafior	++	+++
Rzepak	+++	+++	Brokuły	++	++
Burak cukrowy	+	+	Kalarepa	++	++
Ziemniaki	+	+	Cebula, czosnek	++	+++
Groch, bób, łubin biały	++	++	Trawy pastewne	O	O
Łubin żółty, wąskolistny	++	+	Łąki, pastwiska	+	+
Lucerna	+++	++	Motylkowe pastewne	++	++

+++ – bardzo duża; ++ – duża; + – standardowa; O – mała

Na podstawie danych zawartych w tabeli 6.1 można wyróżnić cztery grupy wrażliwości roślin uprawy polowej na oba lub jeden ze składników:

1. Bardzo duża wrażliwość na oba składniki: rzepak, warzywa krzyżowe,
2. Duża wrażliwość na oba składniki: strączkowe, takie jak: groch, bób, bobik, łubin biały, cebula, czosnek, lucerna;
3. Podwyższona wrażliwość na jeden ze składników: buraki cukrowe, buraki jadalne, pszenica konsumpcyjna, jęczmień, ziemniaki;
4. Mała wrażliwość na oba składniki: pozostałe zboża, trawy pastewne.

Diagnostyka potrzeb nawożenia siarką

Drugi etap diagnostyki nawozowej związany jest z oceną zawartości składników przyswajalnych w glebie. W odniesieniu do siarki najprostszą metodą jest oznaczenie zawartości siarki siarczanowej (tzw. siarka mineralna – $S\text{-}SO_4$) w glebie, co najmniej do głębokości 60 cm. Próbki gleby, stosując nawóz typu **AgroSulCa®**, najlepiej pobierać po zbiorze rośliny uprawnej lub jesienią. Niski stan zawartości siarki mineralnej w glebie jest jednoznacznym wskaźnikiem potencjalnego niedoboru składnika w roślinie i w konsekwencji zahamowania jej wzrostu w okresie krytycznym i formowania elementów struktury plonu. W tabeli 6.2 podano klasy zawartości, stosowane w niektórych stanach USA.

Diagnostyka stanu odżywienia roślin siarką sprowadza się do określenia reakcji rośliny na zaopatrzenie w składniki pokarmowe lub/i reakcji na zastosowany nawóz. Podstawowym elementem oceny stanu odżywienia rośliny jest obserwacja jej stanu morfologicznego. Pierwszym objawem niedoboru składnika jest spowolnienie tempa wzrostu. Ten stan jest trudny do oceny wzrokowej. Niedobór składników występuje w formie utajonej, możliwej do stwierdzenia tylko na podstawie analizy chemicznej części wskaźnikowych. Do tego celu używa się całych roślin, zwłaszcza w młodych stadiach rozwoju lub wybranych części w ściśle określonych stadiach rozwoju. Rośliny pobiera się w określonym stadium rozwoju, lecz ważny jest taki dobór stadium, aby móc w trakcie wegetacji skorygować stan odżywienia, a w odniesieniu do nawozu typu **AgroSulCa®** prognozować reakcję plonotwórczą uprawianej rośliny. W tabeli 6.3 zestawiono wartości optymalne dla głównych roślin uprawnych.

Tabela 6.2. Klasy zawartości siarki mineralnej w glebie i proponowane dawki składnika

Klasa zasobności	Zawartość $S\text{–}SO_4$ mg kg^{-1} gleby	Dawka siarki kg/ha	Prawdopodobieństwo reakcji rośliny uprawnej
Bardzo mała	< 2	30–50	Duże
Mała	2–5	10–30	Przeciętne
Średnia	5–20	0–10	Małe
Duża	>20	0	Brak

[1] Horneck i in. (2011)

Tabela 6.3. Zakresy optymalnego odżywienia wybranych roślin uprawnych siarką'

Roślina	Faza rozwojowa	Część wskaźnikowa	Zawartość S % s.m.
Pszenica ozima[1,2]	Pełnia krzewienia/kłoszenie	Całe rośliny	0,15–0,4
Jęczmień jary[1,2]			0,15–0,4
Owies[2]	Butonizacja	Liście górne	0,21–04
Kukurydza[1] Kukurydza[3]	Stadium 6(7) liścia Liść podkolbowy	Całe rośliny Cały liść	0,2–0,3 0,15–0,6
Rzepaki	Początek kwitnienia	Górne, rozwinięte liście	0,65–0,9
Buraki cukrowe[1]		Ogonki liści	0,12–0,15
Ziemniaki[1]	Początek tuberyzacji	Ogonki liści górnych	0,22–0,25
Soja[3]	Wczesny wzrost	Liście dojrzałe	0,15–0,6
Rajgras[2]	Wczesny wzrost	Całe rośliny	0,10–0,25
Lucerna[2,3]	Początek kwitnienia	Górna część 15 cm	0,26–0,50

[1] Fageria (2008) ; [2] Jez (2008); [3] Campbell (2000)

Diagnostyka potrzeb nawożenia wapniem

Zawartość przyswajalnego wapnia w glebie nie jest rutynowo oznaczana pod typowymi uprawami rolniczymi. W Polsce jak dotąd taki system nie funkcjonuje. Jednakże wykonanie tego oznaczenia jest możliwe, gdyż wykonuje się je w wielu stanach USA, a w najbliższym sąsiedztwie w Republice Czeskiej. Warunkiem wykonania analizy gleby na zawartość przyswajalnego wapnia jest dobranie odpowiedniego testu glebowego. Takie warunki spełnia test Mehlicha. W tabeli 6.4 przedstawiono klasy zawartości wapnia przyswajalnego dla podstawowych kategorii agronomicznej gleby, występujących w Polsce.

W produkcji ogrodniczej i sadowniczej zawartość przyswajalnego wapnia w glebach mineralnych oznaczą się metoda uniwersalną. Szczegółową charakterystykę wartości granicznych zawiera pozycja „Nawożenie roślin ogrodniczych" pod red. Tyksińskiego (2003). Analogicznie jak dla siarki określenie stanu odżywienia roślin wapniem dokonuje się w celu korekty stanu odżywienia, co jest praktykowane w sadownictwie lub dla prognozy plonu. Stosując nawóz doglebowo, w rachubę wchodzi tylko drugi z wymienionych aspektów postępowania diagnostycznego (tab. 6.5).

Tabela 6.4. Klasy zawartości przyswajalnego wapnia w glebie[1], mg kg^{-1} gleby

Klasa zasobności	Gleby lekkie	Gleba średnia	Gleba ciężka
Bardzo mała	0–384	0–615	0–781
Mała	385–629	616–1007	782–1259
Średnia	630–875	1008–1400	1260–1750
Duża	876–1119	1401–1790	1751–2238
Bardzo duża	>1119	>1791	>2239

[1] wg metody Mehlich-3 (Heckman, www.rca.rudgers.edu) dostosowano do warunków Polski

Tabela 6.5. Zakresy optymalnego odżywienia wybranych roślin uprawnych wapniem[1]

Roślina	Faza rozwojowa	Część wskaźnikowa	Zawartość Ca, % s.m.
Pszenica ozima[1]	Początek strzelania w źdźbło	Całe rośliny	0,40–1,0
Żyto ozime[1]			0,35–1,0
Jęczmień jary[1]			0,30–1,0
Owies[2]	Butonizacja	Liście górne	0,21–0,5
Kukurydza[1]	Stadium 6(7) liścia	W pełni rozwinięte liście	0,30–1,0
Kukurydza[2]	Wyrzucanie wiechy	Liść podkolbowy	0,31–0,60
Rzepak[1]	Początek kwitnienia		1,00–2,0
Buraki cukrowe[1]	Początek lipca	Rozwinięte liście	0,70–2,0
Ziemniaki[1]	Początek kwitnienia	Rozwinięte liście	0,60–2,0
Trawy pastewne[1]	Początek kwitnienia	Część nadziemna	0,60–1,2

[1] Bergmann (1992), [2] Kelling, Schulte (2004)

Bilans siarki i wapnia w Polsce

Założenia bilansowe

Bilans składników mineralnych w ujęciu „ na powierzchni pola" uwzględnia zgodnie z ogólną metodyką dwie grupy czynników:

1. Ilość składnika wprowadzonego z różnych źródeł do gleby (pola);
2. Ilość składnika wyniesionego z plonem.

Podstawowy zestaw danych zawiera zarówno dane rejestrowane w gospodarstwie, jak i szacowane na podstawie pomiarów prowadzonych bezpośrednio na użytkowanym polu lub odniesionych do regionu.

Składniki mineralne wnoszone do gleby (na pole) obejmują kilka grup kategorii:

Nawozy mineralne – rejestr własny stosowanych nawozów, całkowita dawka i ewentualnie rodzaj nawozu oraz termin stosowania; w tym zakresie zestaw danych jest możliwy do określenia, pod warunkiem że rolnik prowadzi dokładny spis stosowanych nawozów z pełnym rozpoznaniem ich składu chemicznego; w niniejszym opracowaniu pominięto siarkę, gdyż oficjalne dane GUS nie uwzględniają źródeł nawozowych siarki. W odniesieniu do wapnia uwzględniono dane publikowane w rocznikach GUS.

Tabela 7.1. Wartości nagromadzenia jednostkowego siarki i wapnia

Roślina uprawna	Siarka, kg S/t	Wapń, kg Ca/t
Zboża	4	5
Rzepak	18	50
Ziemniaki	0,8	0,75
Buraki	0,8	2,0
Warzywa uprawy polowej	1,0	11
Strączkowe jadalne	7	20
Koniczyna	4	15
Lucerna	4	20
Pastewne motylkowate	4	15
Pastewne inne	2,5	8
Trawy uprawy polowej	2	8
Kukurydza na kiszonkę	6	5
Strączkowe pastewne	7	30
Łąki trwałe	2,5	10

Nawozy naturalne – produkcję nawozów naturalnych oszacowano na podstawie obsady inwentarza, stosując wskaźnik Duża Jednostka Przeliczeniowa (DJP) i 10 t obornika na 1 DJP. W opracowaniu przyjęto 6 kg CaO na 1 t obornika (= 4,25 kg Ca).
Ilość składników wnoszona w materiale siewnym (nasiona, ziarno, sadzeniaki); w tym przypadku najlepiej posłużyć się obliczeniami własnymi na podstawie dawki i zawartości składnika (pomiar własny lub dane standardowe); w przedstawionym bilansie ten komponent bilansu pominięto jako ilościowo mało istotny.

Opad atmosferyczny – na powierzchnię pola siarka i wapń docierają z atmosfery w formie opadu mokrego (deszcz) lub suchego; w niniejszym opracowaniu posłużono się danymi publikowanymi w corocznych raportach o stanie środowiska Wojewódzkich Inspektoratów Ochrony Środowiska. Saldo bilansowe opracowano dla dwóch grup upraw. Pierwszą stanowiły rośliny uprawiane na gruntach obsiewanych, a drugą łąki trwałe. W tab. 7.1. zamieszczono grupy roślin i wartości współczynników nagromadzenia jednostkowego.

Bilans siarki

Podstawowym, naturalnym źródłem siarki jest opad atmosferyczny, wahając się nieco poniżej 4 kg S/ha w lubuskim i podlaskim do ponad 9 kg S/ha w woj. wielkopolskim, wynosząc średnio dla Polski prawie 6,0 kg S/ha. Klasyfikacja województw, przyjmując skalę 2 kg S/ha, przedstawia się następująco:

a. < 4: lubuskie, podlaskie;

b. 4,1-6: lubelskie, małopolskie, opolskie, podkarpackie, pomorskie, warmińsko-mazurskie, zachodniopomorskie;

c. 6,1-8: dolnośląskie, łódzkie, kujawsko-pomorskie, świętokrzyskie, mazowieckie;

d. >8,1: śląskie, wielkopolskie.

Dopływ siarki z obornika okazał się zdecydowanie mniejszy, wahając się od poniżej 1 kg S/ha w dolnośląskim do prawie 4 kg/ha w wielkopolskim, wynosząc średnio dla Polski 2,0 kg/ha. Klasyfikacja województw, przyjmując skalę 1 kg S/ha, przedstawia się następująco:

a. < 1: dolnośląskie, lubuskie, zachodniopomorskie;

b. 1–2: lubelskie, małopolskie, opolskie, podkarpackie, pomorskie, śląskie;

c. 2–3: kujawsko-pomorskie, łódzkie, mazowieckie, warmińsko-mazurskie,

d. >3: wielkopolskie, podlaskie.

Akumulacja siarki w plonach wahała się od poniżej 15 kg S/ha w woj. świętokrzyskim do ponad 29 kg S/ha w opolskim, wynosząc średnio dla Polski 20 kg/ha. Klasyfikacja województw, przyjmując skalę 4 kg S/ha, przedstawia się następująco:

a. <18: świętokrzyskie, małopolskie, lubelskie, mazowieckie, podkarpackie,

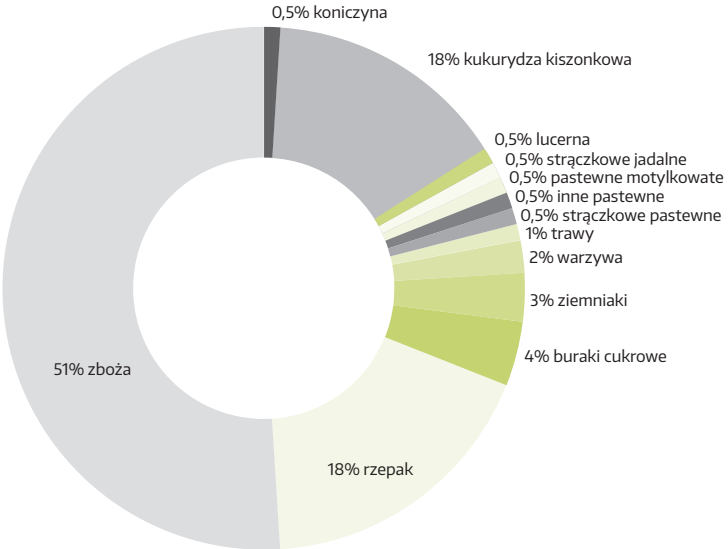
b. 19–22: lubuskie, podlaskie, warmińsko-mazurskie, pomorskie, śląskie,

c. 23–26: kujawsko-pomorskie, wielkopolskie, zachodniopomorskie, dolnośląskie,

d. >26: opolskie.

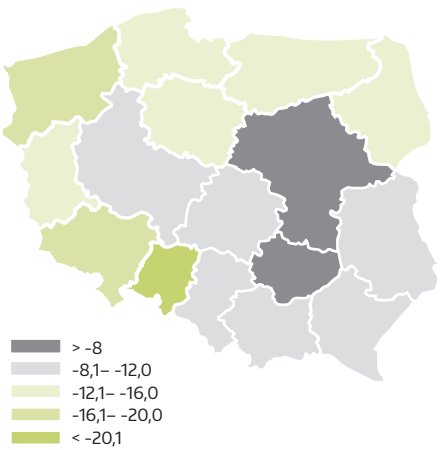
W strukturze akumulacji główną rolę odgrywają zboża, co jednoznacznie wynika z największego areału (ryc. 7.1). Drugie miejsce równorzędnie zajmują rzepak i kukurydza kiszonkowa. Do trzeciej grupy należy zaliczyć buraki cukrowe, ziemniaki i warzywa uprawy polowej, które łącznie stanowią 9%. Udział pozostałych grup roślin nie przekracza 1%.

Efektem bilansu jest zawsze saldo bilansowe, które dla siarki nie uwzględnia, ze względu na brak danych, składnika dopływającego do pól uprawnych – obsiewanych w formie nawozów. Wartość salda bilansowego w latach 2010–2012 była ujemna, wynosząc średnio dla Polski -12,7 kg S/ha (ryc. 7.2). Dla żadnego z województw nie stwierdzono wartości do-



Ryc. 7.1. Struktura akumulacji siarki przez rośliny uprawne w Polsce

datniej, co wskazuje na pogłębiający się deficyt siarki w produkcji roślinnej w Polsce. Na podstawie uzyskanych wyników powierzchnię Polski dla upraw polowych można podzielić na cztery makroregiony:



Ryc. 7.2. Saldo bilansowe siarki dla glebach obsiewanych, lata 2010–2012

1. Zachodni: zachodniopomorskie, dolnośląskie, opolskie; do tego regionu ze względu na specyfikę winno zostać dołączone także lubuskie;
2. Północno-wschodni: pomorskie, kujawsko-pomorskie, warmińsko-mazurskie, podlaskie;
3. Centralno-zachodni: wielkopolskie;
4. Centralno-wschodni: łódzkie, mazowieckie, świętokrzyskie, lubelskie, podkarpackie, małopolskie, śląskie.

Największe problemy w zakresie gospodarki siarką dotyczą od wielu lat zachodnich regionów Polski. Na tym obszarze o bilansie siarki decyduje udział rzepaku, a także znikomy dopływ składnika z nawozów naturalnych. Głównym źródłem dopływu siarki są opady atmosferyczne oraz zasoby glebowe. Trzeba jednak zwrócić uwagę na fakt, że w tych regionach rolnicy stosują nawozy siarkowe głównie w postaci:

1. siarczanu amonu —> stosowany pogłównie, wiosna w rzepaku;

2. siarczanu magnezu —> stosowany dolistnie;
3. kizerytu —> stosowany doglebowo, jesienią lub wiosną.

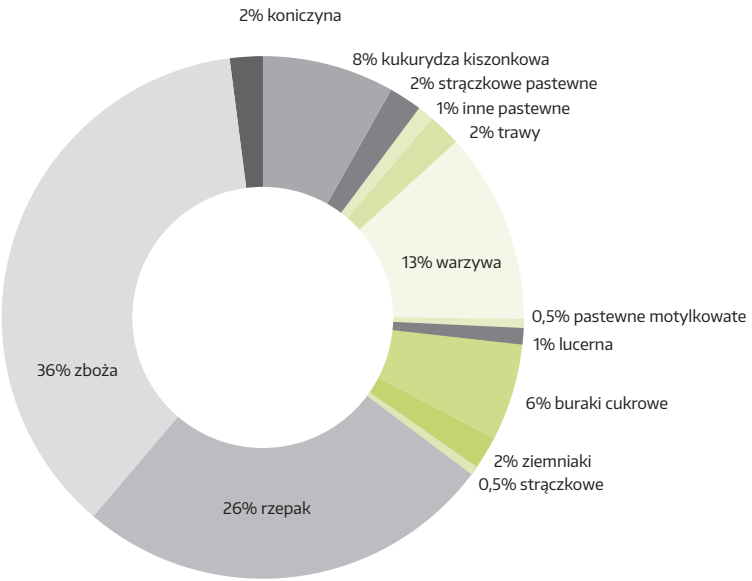
W tym pierwszym przypadku producenci rzepaku stosują na 1 ha 100—200 kg siarczanu amonu, wprowadzając do gleby od 25 do 50 kg S ha^{-1}. Stąd, pomimo zdecydowanie bilansu ujemnego, zawartość siarki w glebie, co wynika z recyklingu słomy rzepakowej, jest duża.

Bilans wapnia

Podstawowym, naturalnym źródłem wapnia w rolnictwie jest wapno nawozowe. Stosowane w latach 2010–2012 dawki wahały się od poniżej 10 kg Ca/ha w woj. podkarpackim, świętokrzyskim, małopolskim i podlaskim do ponad 60 kg Ca/ha w opolskim, wynosząc średnio dla Polski zaledwie 26 kg Ca/ha. Drugim źródłem wapnia są nawozy naturalne, dostarczając średnio około 18 kg Ca/ha, wahając się od poniżej 10 kg Ca/ha w regionach zachodnich Polski do powyżej 30 kg Ca/ha w woj. wielkopolskim i podlaskim. Opad atmosferyczny dostarcza średniorocznie około 6 kg Ca/ha, wahając się od nieco poniżej 4 kg Ca/ha w lubuskim, świętokrzyskim do ponad 9 kg Ca/ha w woj. wielkopolskim i śląskim. Klasyfikacja województw wg dopływu wapnia do gleby, przyjmując skalę 20 kg Ca/ha, przedstawia się następująco:

1. <30: małopolskie, podkarpackie, świętokrzyskie;
2. 31–50: lubelskie, lubuskie, łódzkie, mazowieckie, podlaskie, śląskie;
3. 51–70: dolnośląskie, pomorskie, warmińsko-mazurskie, zachodniopomorskie;
4. >71: kujawsko-pomorskie, wielkopolskie, opolskie.

Akumulacja wapnia w plonach wyniosła średnio dla Polski zaledwie 37 kg Ca/ha, wahając się od poniżej 30 kg Ca/ha w woj. podlaskim



Ryc. 7.4. Struktura akumulacji siarki przez rośliny uprawne w Polsce

do nieco ponad 50 kg Ca/ha w opolskim. Klasyfikacja województw, przyjmując skalę 10 kg Ca/ha, przedstawia się następująco:

1. <30: podlaskie;
2. 31–40: lubelskie, lubuskie, łódzkie, mazowieckie, podkarpackie, warmińsko-mazurskie, pomorskie, śląskie, świętokrzyskie, wielkopolskie;
3. 41–50: małopolskie, kujawsko-pomorskie, zachodniopomorskie, dolnośląskie,
4. 50: opolskie.

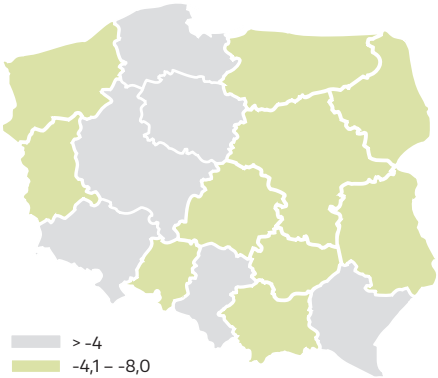
W strukturze akumulacji główną rolę odgrywają zboża, co jednoznacznie wynika z największego areału (ryc. 7.4). Drugie miejsce równorzędnie zajmuje rzepak, trzecie warzywa gruntowe, czwarte - kukurydza kiszonkowa, a piąte — buraki cukrowe. Udział pozostałych grup roślin waha się od 0 do 2%.

Region północno-wschodni wykazuje duży, ujemny bilans, pomimo znacznej produkcji zwierzęcej w woj. podlaskim i kujawsko-pomorskim. Analogicznie jak w regionie poprzednim rolnicy stosują duże dawki siarki w formie nawozów mineralnych, co powoduje, że stan zawartości siarki w glebie jest dobry.

Region trzeci obejmuje woj. wielkopolskie z dużym pobraniem składnika, lecz także z dużym udziałem opadów atmosferycznych i obornika.

Region czwarty obejmuje województwa o zdecydowanie małej akumulacji siarki w plonach. Z tej też przyczyny bilans składnika jest ujemny, lecz niezbyt duży.

Trwałe użytki zielone zajmują powierzchnie około 2,6 mln ha i są znaczącym producentem pasz objętościowych dla bydła. Saldo bilansowe siarki jest ujemne, lecz stan deficytu jest znacznie mniejszy niż dla upraw polowych (ryc. 7.3). Przyczyną względnie pozytywnego stanu jest niska produkcja, co prowadzi do małego deficytu składnika. Na podstawie



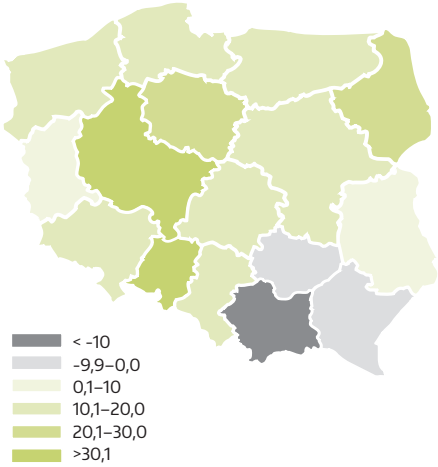
Ryc. 7.3. Saldo bilansowe siarki dla trwałych użytków zielonych, średnia 2010–2012

wielkości akumulacji siarki wydzielono trzy zwarte regiony:

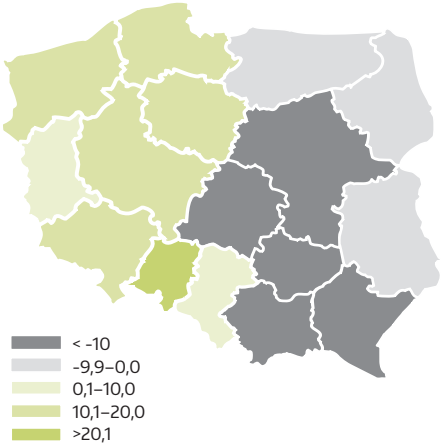
1. Północno-zachodni: lubuskie, zachodniopomorskie;
2. Centralny: pomorskie, kujawsko-pomorskie, wielkopolskie, dolnośląskie;
3. Centralno-wschodni: warmińsko-mazurskie, podlaskie, mazowieckie, łódzkie, opolskie, świętokrzyskie, lubelskie, małopolskie.
4. Pozostałe dwa województwa, to znaczy śląskie i podkarpackie; wykazują nieco mniejszy deficyt siarki niż regiony je otaczające. W przypadku śląskiego wynika to ze znacznego opadu siarki z atmosfery.

Saldo bilansowe wapnia na gruntach obsiewanych w Polsce jest zmienne, od ujemnego po dodatnie (ryc. 7.5). Na podstawie wartości salda bilansowego można wydzielić cztery zwarte makroregiony o bilansie:

1. Ujemnym – obejmuje Polskę południowo-wschodnią: małopolskie, podkarpackie, świętokrzyskie; bilans wapnia jest zdecydowanie ujemny, a przyczyną jest bardzo małe zużycie nawozów wapniowych;



Ryc. 7.5. Saldo bilansowe wapnia dla gleb obsiewanych, lata 2010–2012



Ryc. 7.6. Saldo bilansowe wapnia dla trwałych użytków zielonych, lata 2010–2012

2. Dodatnim – krytycznym; wartość salda stanowi około 50% wartości akumulacji składnika w plonach:
   a. regiony centralno-wschodnie: łódzkie, mazowieckie, lubelskie; dolnośląskie, śląskie;
   b. regiony północno-zachodnie: pomorskie, zachodniopomorskie, lubuskie;
3. Dodatnim – zagrożonym; wartość salda pokrywa $^3/_4$ akumulacji składnika w plonie:
   a. kujawsko-pomorskie, podlaskie;
4. Dodatnim – zbilansowanym; wartość salda przekracza akumulację składnika: wielkopolskie, opolskie.

Wartość salda bilansowego wapnia dla łąk trwałych przedstawia także bardzo złożony obraz gospodarki wapnem w Polsce (ryc. 7.6). Stan zagrożenia ujęto w trzech kategoriach:

1. Ujemny – obejmuje Polskę centralno-wschodnią, osiem województw;
2. Dodatni – krytyczny; wartość salda stanowi około $^1/_2$ wartości akumulacji składnika w plonach; obejmuje obszar Polski centralno-zachodniej;
3. Dodatni – zagrożony; wartość salda pokrywa $^3/_4$ akumulacji składnika w plonie: opolskie.

Kwaśna gleba, toksyczny glin – wypadanie roślin jęczmienia ozimego z łanu

Quasi-więdnięcie fuzaryjne rzepaku ozimego w okresie kwitnienia – niedobór wapnia

Jasnozielone przebarwienia młodych liści rzepaku w stadium strzelania w pęd wskazują na niedobór siarki

W glebie kwaśnej niedobór wapnia zakłóca wzrost kukurydzy

Literatura wykorzystana w opracowaniu

Bergman W. 1992. Nutritional disorders of plants. Gustav Fischer Verlag Jena, 741 s.

Campbell C. 2000. Reference sufficiency ranges for plant analysis in the Southern region of the United States. Southern Cooperative Sedes Bulletin No 394, 134 s.

Datnoff L., Elmer W., Huber D. 2007. Mineral nutrition and plant disease. APS Press, Minnesota, USA, 278 s.

Fageria N.K. 2009. The use of nutrients in crop plants. CRC Press, 448 s.

Grzebisz W. 2008. Nawożenie roślin uprawnych. Podstawy nawożenia. PWRiL, Poznań, 427 s.

Grzebisz W. 2009. Nawożenie roślin uprawnych. Nawozy i systemy nawożenia. PWRiL, Poznań, 376 s.

GUS. 2011, 2012, 2013. Wyniki produkcji roślinnej 2010, 2011, 2012. Warszawa.

GUS 2011, 2012, 2013. Rocznik statystyczny rolnictwa 2011, 2012, 2013. Warszawa.

Heckman J. 2006. Soil fertility test interpretation. Fact Sheet No. 719, Rutgers Cooperative Extension, 4 s.

Horneck D., Sullivan D., Oven J., Hart J. 2011. Soil interpretation guide. Extension Service Oregon State University, 6 s.

Jez J. 2008. Sulfur: a missing link between soils, crops, and nutrition. Agronomy Monograph 50. ASA, CSSA, SSSA, Madison, USA, 328 s.

Kelling K., Schulte E. 2004. Soil and applied calcium. Cooperative Extension Service, Wisconsin University, A2523, 2 s.

Mortvedt J., Murphy L., Follett R. 1999. Fertilizer technology and application. Meister Publishing Co., Willoughby, USA, 199 s.

Tyksiński W. 2003. Nawożenie roślin ogrodniczych. AR w Poznaniu, 188 s.

www.agrosulca.com.pl