

Na yzno gleby

**AgroSulCa**

nawóz siarkowo-wapniowy



**STOSOWANIE NAWOZU**

## Spis treści

Wprowadzenie – niskie plony.....	4
<b>AgroSulCa® — ródło wapnia i siarki</b>	
Wła ciwo ci nawozu.....	5
Skład chemiczny.....	5
Wła ciwo ci fizyczne.....	5
Rozpuszczalno nawozu w wodzie.....	6
Indeks solny AgroSulCa®.....	8
<b>AgroSulCa® — ogólne zalecenia nawozowe</b>	
Gleby bardzo lekkie.....	10
Gleby lekkie.....	11
Gleby rednie.....	12
Gleby ci kie.....	13
Siarka.....	14
Siarka w ła cuchu pokarmowym.....	14
Siarka w glebie.....	14
Siarka w ro linie.....	17
Funkcje siarki w ro linie.....	19
Siarka: plony i jako .....	20
Wap .....	23
Wap w ła cuchu pokarmowym.....	23
Wap w glebie.....	24
Wap w ro linie.....	26
Funkcje w ro linie.....	26
Funkcje plonotwórcze.....	28
Skutki wzrastaj cego zakwaszenia gleb.....	29
Toksyczny glin.....	29
Stan zakwaszenia gleb w Polsce.....	30
Kontrola toksycznego glinu.....	30
Diagnostyka potrzeb nawozowych.....	31
Wra liwo ro lin uprawnych.....	31
Diagnostyka potrzeb nawo enia siark .....	32
Diagnostyka potrzeb nawo enia wapniem.....	33
Bilans siarki i wapnia w Polsce.....	35
Zało enia bilansowe.....	35
Bilans siarki.....	36
Bilans wapnia.....	38
Literatura wykorzystana w opracowaniu.....	43

# **Stosowanie nawozu**

## Wprowadzenie – niskie plony

Plony rolin uprawianych w Polsce kształtują się poniżej potencjału stanowiących, 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 wodną w okresie wegetacji roślin. Woda z opadów ziemnych nie jest dostatecznie zagospodarowana zimą, a tym samym rośliny narażone są na duże stresy, wywołane niedoborem opadów w okresie biodeintensywnego wzrostu, biodeformowania plonu. Zła gospodarka wodnosparsza warunki działania azotu z na-

wozów mineralnych. Konsekwencją nieefektywnej gospodarki wodnej 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 należą także paliwa kopalne używane do produkcji nawozów azotowych. Niedostateczna kontrola procesów zakwaszenia gleby prowadzi do spadku odczynu, skutkując redukcją efektywności 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 gleb w ilościach zbyt małych, wywołując zagrożenie dla środowiska, lecz z powodu nieefektywnego wykorzystania azotu.

**AgroSulCa**

nawóz siarkowo-wapniowy



## AgroSulCa® — źródło wapnia i siarki

AgroSulCa® w swym składzie zawiera dwa składniki mineralne w formie dostępnej dla rośliny, a mianowicie wapń ( $\text{Ca}^{2+}$ ) oraz siarkę siarczanową ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Nawóz wapniowo-siarczanowy o nazwie AgroSulCa® występuje w postaci naturalnej — drobnokrystalicznej, zwanej też w praktyce rolniczej pylistą oraz granulowaną.

### Właściwości nawozu

#### Skład chemiczny

Rednia zawartość uwodnionego siarczanku wapnia w nawozie kształtuje się w zakresie 89–92%. Uwzględniając masę czystej steżki siarczanu wapnia  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , wynosi ona 170 g, zawarta w nawozie siarka stanowi 18,82%, a wapń nieco więcej, gdy 23,53%. Uwzględniając zawartość w odzyskanym produkcie tzw. wodnym oraz inne poboczne, lecz cenne dla gleby i rośliny, takie jak gliny wapnia i magnezu, rednia zawartość siarki kształtuje się w zakresie 16,7–17,3%, wynosi ona rednio w nawozie AgroSulCa® 17%. Zawartość wapnia kształtuje się w zakresie 20,9–21,6%, rednio 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 w glazach, 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 niewielkie ilości 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 nawozów. Wymiar kryształków siarczanu wapnia waha się od 10 do 100 µm, wykazując predyspozycję do tworzenia w wodzie zawiesiny. W glebie, tworząc naturalną zawiesinę, przemieszcza się w kierunku profilu glebowego. Jest to niezwykle ważna cecha agrochemiczna

na nawozu, gdy wskazuje na jego ruchliwość w profilu glebowym, prowadzi do wysycenia strefy aplikacji nawozu (warstwa orna, a w zasiegu podglebie).

W nawozie AgroSulCa® obecne s dwa rodzaje wody, tzw. wolna i zwi zana. Obecno tej pierwszej kształtuje wilgotno nawozu. Zawarto wody wolnej, określajcej wilgotno nawozu waha si w zakresie od 5 do 10%, a zawarto zwi zanej jest stała, wynoszc 20%. Wilgotno nawozu w znacznym stop

niu decyduje o zachowaniu si nawozu w maszynach wysiewajcych, prowadzi przy nadmiarze do blokowania, zawieszania si dozowników (ta m) transportujcych czy te talerzy dozujcych. W trakcie składowania wskazane jest zabezpieczenie przyzmy z nawozem przed nadmiarem wody lub, gdy przyzma znajduje si na wolnym powietrzu, do opracowania takiego sposobu warunków odszczania wody wolnej, aby zmniejszy jej zawarto przed wysiewem na pole do minimum.

## Rozpuszczalno nawozu w wodzie

Nawóz siarkowo-wapniowy AgroSulCa® naley do grupy nawozów o spowolnionym działaniu. Do tej grupy nawozów zalicza si te wszystkie, których rozpuszczalno w wodzie w ciagu 24 godzin nie przekracza 15%. Jak przedstawiono na ryc. 2.1 ubytek nawozu w ciagu doby wyniósł 4,5%. Ocen rozpuszczalno ci nawozu przeprowadzono w wodzie o pH 5,5, co odpowiada warunkom kwasowoci, jakie panuj w standardowej glebie w Polsce. W ciagu 24 godzin rozpu ciło si 450 mg/dm<sup>3</sup> nawozu, co odpowiada 100 mg Ca i 80 mg S/dm<sup>3</sup>. Przyjmujc ogóln ilo wody w glebie w jednym sezonie wegetacyjnym na poziomie 600 mm (= 6 000 000 dm<sup>3</sup>); teoretycznie rozpu ciłoby si 2700 kg/ha nawozu, a do gleby uwolniłoby si 486 kg S/ha i 567 kg Ca/ha.

W praktyce ilo potencjalnie uwolnionego składnika jest mniejsza, gdy stan wysycenia

nia profil glebowy w klimacie umiarkowanym osi ga głównie pó n jesieni, a stan ten ko czy si wczesn wiosn. Ilo wody zgromadzona w tym okresie w glebie odgrywa kluczow rol w działaniu nawozu AgroSulCa®. Ilo zgromadzonej wody wynika ze składu granulometrycznego gleby. Im gleba jest ci sza, tym gromadzi wicej wody. Zgodnie z normatywami zamieszczonymi w tab. 2.1 ilo wody zgromadzonej w glebie w profilu o mi szo ci 1 m okre la kategoria agronomiczna gleby.

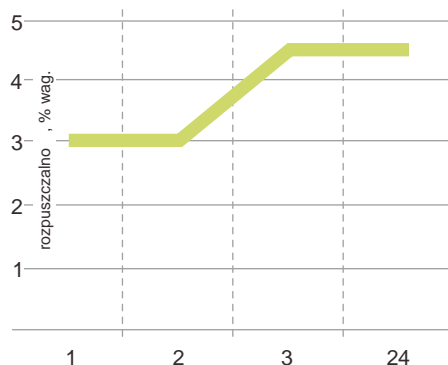
Na podstawie rozpuszczalno ci nawozu w wodzie i ilo ci wody w strefie umieszczenia nawozu mo na wylczy ilo składnika dostępnego dla roliny. W tabeli 2.2 zestawiono dane o ilo ci uwolnionej siarki i wapnia z uwodnionego siarczanu wapnia, zakładajc wysycenie gleby wod na poziomie pełnego wilgotnienia (polowa pojemno wodna — PPW). Sposób

Tabela 2.1. Zakres polowej pojemno ci wodnej (PPW) gleb<sup>1</sup>, mm, warstwa 0–100 cm

Bardzo lekka	Lekka	rednia	Ci ka
110–145	146–210	211–270	271–460

<sup>1</sup> Rozporz dzenie Ministra roduwiska (Dz.U. 02.241.2093 z dnia 31 grudnia 2002 r.)

wyliczenia ilości składnika nawozu, zakłada się 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<sup>3</sup>/ha = 1 700 000 dm<sup>3</sup>
- miąższość warstw gleby z nawozem = 0,25 m
- ilość wody w warstwie 0,25 m = 1 700 000 × 0,25 = 425 000 dm<sup>3</sup>
- rozpuszczalność nawozu = 0,45 g/dm<sup>3</sup> = 0,00045 kg/dm<sup>3</sup>
- zawartość wapnia w nawozie 21%
- zawartość siarki w nawozie, 17% grosznic
- D<sub>A</sub> – dawka nawozu; D<sub>S</sub> – dawka siarki.

II) Obliczenia

$$D_{\text{AgroSulCa}} = 425\,000 \times 0,00045 = 191,25 \text{ kg/ha}$$

$$D_s = 191,25 \times 0,17 = 32,51 \text{ kg S/ha}$$

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

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

<sup>1</sup>wapń, <sup>2</sup>siarka

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

1. mieszanie nawozu na jak najwi sz g ł - boko ,
2. stosowanie nawozu w okresie od lata do pó nej jesieni, gdy profil glebowy osi ga stan wysycenia.

W praktyce zabiegi mieszania rzadko prze - kraczej 25 cm. Najcz ciej nawozy stosu je si przed siewem, mieszaj c gleb od kilku do kilkunastu cm. Nawozy typu AgroSulCa<sup>®</sup> działaj najlepiej, gdy ulegaj rozpuszczeniu w wodzie, czemu sprzyjaj opady w okresie

jesiennie-zimowym. St d te warunki pogo - dowe w okresie od lata do wiosny decyduj , jak bardzo efektywnie b dzie nawóz kształt - wał stan od ywienia uprawianych ro lin wap - niem i siark .

AgroSulCa<sup>®</sup>, ze wzgl du na swoje wła ciwo ci fizyczne, w stanie wysycenia tworzy zawiesi - n , co sprzyja migracji nawozu w g ł bsze war - stwy gleby. Zasi g systemu korzeniowego ro - lin wynosi około 0,6 m. Stosuj c nawóz jesie - ni , mieszaj c z gleb mo na uzyska dobre rozmieszczenie składników w strefie ukorze - niania si uprawianej ro liny, a tym samym optymalnie od ywi ro liny wapniem i siark .

## Indeks solny AgroSulCa<sup>®</sup>

Nawóz AgroSulCa<sup>®</sup>, ci lej syntetyczny siarczan wapnia, nie stwarza zagro enia w zalecanych dawkach nawozowych nadmiern koncentracj wprowadzonej soli. Jak zestawiono w tab. 2.3, in - deks solny nawozu kształtuje si na poziomie su - perfosfatu prostego i jest wielokrotnie mniejszy od innych nawozów stosowanych w polskim rol - nictwie. Stosowanie nawozu AgroSulCa<sup>®</sup> w daw -

kach kilkukrotnie wi kszych, zwłaszcza na gle - bach o słabej strukturze, wydatnie j poprawia, stymuluj c tym samym wzrost ro lin. W stano - wiskach na glebach wykazuj cych tendencj do zaskorupiania si stosowanie pogłowne nawo - zu zmniejsza zagro enie zaskorupiania, a tym samym poprawia warunki kiełkowania i wzro - stu ro lin uprawnych.

Tabela 2.3. Indeks solny AgroSulCa<sup>®</sup> na tle wska nika głównych nawozów stosowanych w Polsce<sup>1</sup>

Nawóz	Indeks solny <sup>2</sup>	Nawóz	Indeks solny
AgroSulCa <sup>®</sup>	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

<sup>1</sup> ródło: Mortvedt i in., 1999; <sup>2</sup> wska nik odniesienia, saletra sodowa = 100



**AgroSulCa**  
nawóz siarkowo-wapniowy



## AgroSulCa® — ogólne zalecenia nawozowe

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

- agrotechniczny termin stosowania
- kalendaryzowy termin stosowania
- wielkość dawki nawozowej

Rozwinięcia 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 ( $\text{Ca}^{2+}$ ) i siarki w formie anionu siarczanowego ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) jest małe.

Zalecane dawki nawozu AgroSulCa® zapewniają sprawne pobieranie magnezu ( $\text{Mg}^{2+}$ ) i potasu ( $\text{K}^+$ ). *Nie mniej ważne 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.

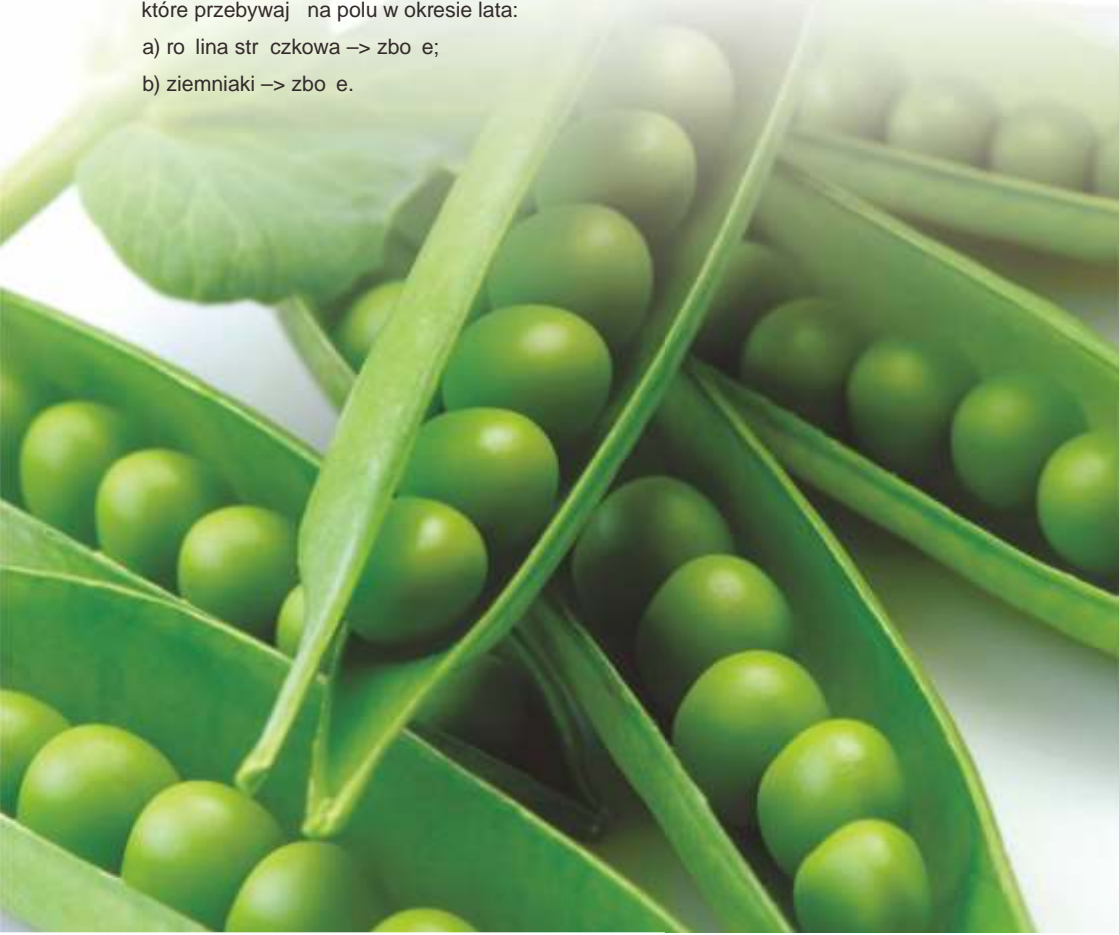
Uwzględniając podane powyżej wymagania i ograniczenia, system nawożenia nawozem AgroSulCa® opracowano dla sekwencji roślin uprawnych, zakładając działanie obu składników w cyklu dłuższym niż jeden sezon wegetacyjny. Najczęściej stawiane producentowi nawozu pytanie sprowadza się do określenia warunków efektywnego wpływu na rośliny, zakładając wielkość plonu i poprawę jego jakości technologicznej. Obszary działania sił 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 częściowo, 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 zwiększone 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 następującej uprawy roślin obejmuje rośliny liny, które przebywają na polu w okresie lata:
  - a) rośliny lina strączkowa → zboża;
  - b) ziemniaki → zboża.



## 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 niwach, najlepiej pod pierwszy zabieg uprawowy. Nawóz należy intensywnie wymieszać z glebą, możliwie na jak największą głębokość boku 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 niwach lub pod orkę przedzimą. W systemach bezorkowych nawóz stosuje się natychmiast po zbiorze przedplonu. Stosując nawóz wiosną pod rośliny pozostające na polu latem, wskazane byłoby uwzględnić także rośliny następcze, zwłaszcza gdy to jest rzepak.

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

Roślina uprawna <sup>1</sup>	Pobranie Ca z plonem $\text{kg t}^{-1}$	Pobranie S z plonem $\text{kg t}^{-1}$
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
jęczmień, pszen jary	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, łąki	9–11	2–3

## Gleby rednie

### 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 rednych, potencjał uprawianych odmian (poziom A2 wg COBORU) winien być wykorzystany w 80–90%. Takie założenie wymaga wysoce racjonalnej gospodarki składnikami pokarmowymi, które muszą równoważyć dawkę 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 zastosować z powodzeniem stosowo-pogłównie, oczywiście na terenach płaskich, aby nie stracił składników w wyniku zmycia czy terozji. W oziminach najlepiej nawóz stosować pod dwie kolejne rośliny, przykładowo:

rzepak → pszenica  
pszenica → rzepak

Ta druga sekwencja roślin jest wysoce optymalna, gdy 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 ciwkie

### Cel stosowania nawozu:

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

Gleby prezentują najniższy potencjał produkcyjny, lecz pod warunkiem dobrej struktury gleby. W cięższych glebach, zwanych minutowymi, jest trudniej w uprawie, a plony są niższe. AgroSulCa® posiada jedną z najważniejszych cech, a mianowicie w trakcie rozpuszczania uwalnia siarczek węgla, który 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 właściwe dawki nawozu muszą być kilkakrotnie większe od niezbędnych do pokrycia potrzeb pokarmowych uprawianych roślin, głównie zbóż. Termin stosowania wypada bezwzględnie na okres pożniwy. 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 także do realizacji innych zadań mających 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 gleb 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 uprawianych, w tym:

- poprawa struktury gleby — mniejsza zwłóknienie, 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 ziemi,
- poprawa jakości produktów, zwłaszcza warzyw → większe wapnia, białka,
- wzrost odporności na patogeny → poprawa zdrowotności roślin.

# Siarka

## Siarka w łauchu pokarmowym

Rośliny uprawne pobierają siarkę w trzech różnych formach, a mianowicie jonu siarczana nowego ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), dwutlenku siarki ( $\text{SO}_2$ ), siarczku wodoru ( $\text{H}_2\text{S}$ ). 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, biotyn i tiamin, gdy innych nie przyśwaja. 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 krzyżowce, dostarczają one po wyłóceniu tłuszczu z nasion makuchy czy te ruty. Łuszczyny rzepaczane są dobrym źródłem siarki dla owiec, gdy poprawiają jakość wełny.

Siarka stanowi 0,25% masy ciała dorosłego człowieka, którego dzienne zapotrzebowanie nie 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 jako ciałko. Największe zapotrzebowanie na siarkę wykazują niemowlaki. Jest ono 2-krotnie większe od potrzeb 2-latków i 4-krotnie większe od potrzeb człowieka dorosłego. Produkty spożywcze bogate w siarkę to głównie wa-

rzywa, takie jak: brokuł, brukselka, cebula, czosnek, a także nasiona roślin strączkowych.

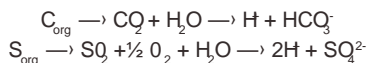
## Siarka w glebie

W glebie siarka występuje w wielu postaciach (ryc. 3.1). Podstawowym dla roślin zasobem są związki mineralne, obecne w roztworze glebowym, określane mianem siarki mineralnej (pula nr 1). Wielkość tego zasobu można zmierzyć, oznaczając zawartość siarki siarczanowej ( $\text{S-SO}_4$ ). W hierarchii potencjalnych zasobów siarki przyswajalnej formami pierwotnymi są minerały, wśród których dominują siarczki (piryt ( $\text{FeS}_2$ ), pirotyn ( $\text{FeS}$ ) (pula nr 2)). Związki te podlegają systematycznemu, lecz powolnemu utlenianiu, pozostawiając w glebie siarczany i kationy pierwiastków łatwo przyswajalnych, przykładowo elaza, 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 postaci organicznych. Procesy uwalniania siarki mineralnej z postaci organicznych są bardzo skomplikowane, gdy zachodzi przy udziale mikroorganizmów. Tempo mineralizacji siarki organicznej w glebie zależy w pierwszej kolejności od aktywności mikroorganizmów glebowych, warunkowana jest trzema cechami gleby rodowiskowymi:

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

- wilgotno ci , optymalna wilgotno gleby dla mineralizacji obejmuje zakres tzw. połowej
- pojemno ci wodnej gleby (PPW, czyli w zakresie 60–75% całkowitej pojemno ci połowej gleby)
- odczynem; optymalny od 5,5 do 8,5.

Optymalne warunki termiczne w Polsce pojawiają się dopiero latem, jednak ilość uwolnionej siarki zależy od rozkładu opadów. Tyłko 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 kwasność gleby. Wzrost pH gleby prowadzi do dużego namnażania się bakterii, co tym samym przyspiesza tempo mineralizacji materii organicznej gleby (org):



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

Rola uwolnionych protonów jest wieloraka, gdy

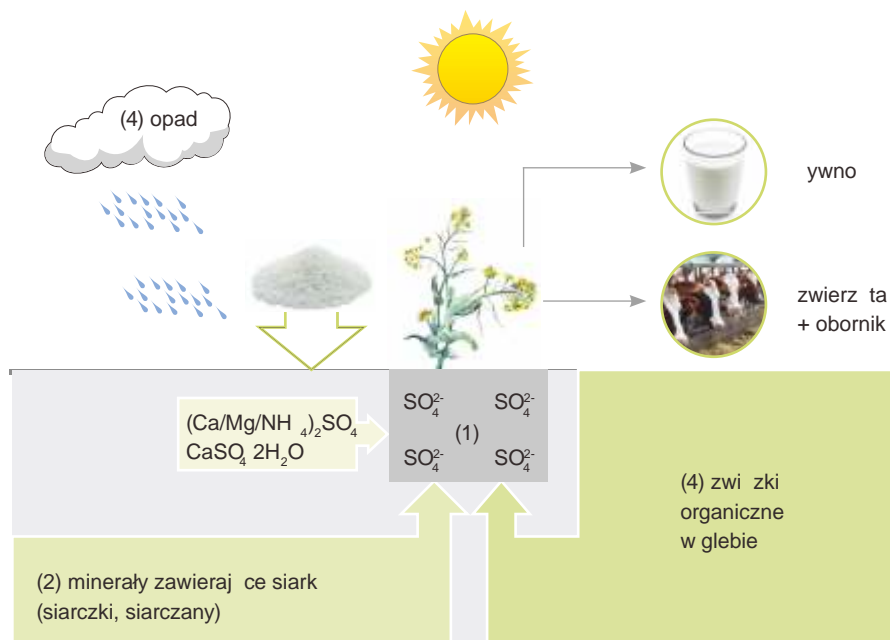
- I) prowadzi do uwolnienia kationów zasadowych ( $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ) z glebowego kompleksu sorpcyjnego,
- II) prowadzi do uwolnienia składników mineralnych ze związków nierozpuszczalnych,
- III) zwiększa tempo rozpuszczania soli siarczanowych, zwłaszcza AgroSulCa.

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, nałóżki), a także nawozy naturalne (obornik, gnojówka, gnojowica). Tempo ich rozkładu silnie zależy od stosunku C:S (tab. 3.1). Bogate w siarkę resztki roślinne z rodziny *Brassicaceae* (kapustowate, krzyżowe) o stosunku C:S około 40(60):1. Znacznie uboższe są rośliny z rodziny *Fabaceae* (motyłkowate), dla których stosunek C:S w młodych kształtach się waha w zakresie wahałym od 160:1. W tej samej grupie znajdują się liście buraków cukrowych. Zdecydowanie najszerzym stosunkiem C:S, gdy powyżej 160:1, charakteryzują się resztki roślinne zbóż (słoma), ziemniaków (na ziemniaczana) oraz kukurydzy. Ten rodzaj resztek roślinnych, dominujących w Polsce, wywołuje zjawisko biologicznego uwsteczniania siarki mineralnej w glebie.

Tabela 3.1. Kierunek przemian siarki w glebie zależy nie 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 po niwne rzepaku, gorczycy białej	liście buraków cukrowych, nawozy zielone roślin strączkowych	słoma roślin strączkowych, słoma zbóż, łuski cynamonu ziemniaków

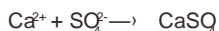


Ryc. 3.1. Źródła i kręcenie siarki w środowisku



Obecne w roztworze glebowym jony siarczka - nowe podlegaj kilku istotnym procesom (ryc. 3.1), gdy s :

- pobierane przez ro liny;
- wizane przez mikroorganizmy glebowe — biologiczne uwstecznianie;
- wymywane; proces ten zachodzi intensywnie w glebach o odczynie oboj tnym;
- wizane przez cz stki gleby; proces, zwany sorpcj , zachodzi w glebach kwa nych i lekko kwa nych;
- wytr cane w glebach o odczynie zasadowym:



Zjawisko, znane jako biologiczne uwstecznianie siarki, zachodzi w warunkach, gdy stosunek C:S w resztkach ro linnych czy te nawozach naturalnych jest szerszy ni 1:160. W takiej sytuacji mikroorganizmy pobieraj siark z roztworu glebowego, prowadz c tym samym do ubytku skł adnika w roztworze glebowym. W konsekwencji tego procesu pula skł adnika dost pna dla ro liny uprawnej ulega redukcji. Proces ten o charakterze przej ciowym jest po dany w stanowiskach na glebach lekkich i w regionach o du ych opadach w okresie jesienno-zimowym. Drug , bezpo redni przyczyn strat siarki z gleb uprawnych jest wymywanie siarki siarczka nowej. Proces ten zachodzi w stanowiskach o uregulowanym odczynie w okresie braku ro linno ci i przy jednocze nie du ych opadach atmosferycznych. Z takim zjawiskiem at mosferycznym w Polsce mamy do czynienia w okresie pó nej jesieni, ł agodnej zimy oraz wczesnej wiosny.

## Siarka w ro linie

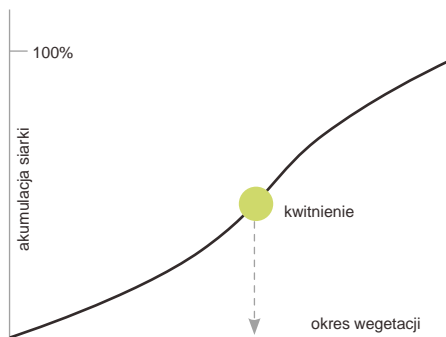
Pobieranie siarczanów

Ro liny pobieraj siark z gleby przez cały okres wegetacji. Krytyczne okresy akumulacji wynikaj z zapotrzebowania ro liny na ten

wła nie skł adnik i na azot. Pierwszy krytyczny okres przypada na fazy formowania si struktury ro liny, gdy wykształcaj si li cie. Drugi jest zwi zany z powstawaniem plonu (ryc. 3.2). Na uwadze trzeba te mie jeszcze to, e w okresie dojrzewania remobilizacja siarki z cz ci wegetatywnych do plonu u ytkowego kształtuje si na poziomie wysoce umiarkowanym. W tym okresie głównym ródłem skł adnika jest gleba, w zwi zku z czym zasoby skł adnika w formie mineralnej w glebie staję nowi o stanie od ywienia ro liny.

Ro liny uprawne nie pobieraj nadmiernych ilo ci siarki, a stan ich bie cego od ywienia zale y od koncentracji skł adnika w roztworze glebowym oraz stanu od ywienia ro lin. O prawidłowym zaopatrzeniu ro liny uprawnej w siark decyduj trzy grupy czynników:

- warunki wegetacji — siedlisko i rodowisko;
- ogólny stan od ywienia;
- agrotechnika.



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

Rola rodowiska jest podstawowa, gdy okre la naturalny potencjał gleby do produkcji siarczanów, a tak e warunki ich pobierania przez uprawian ro lin . W tej grupie podstawow rol odgrywa kategoria agronomiczna gleby i zawarto próchnicy:



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

Rola czynników agrotechnicznych należy rozważać w kategoriach kształtowania:

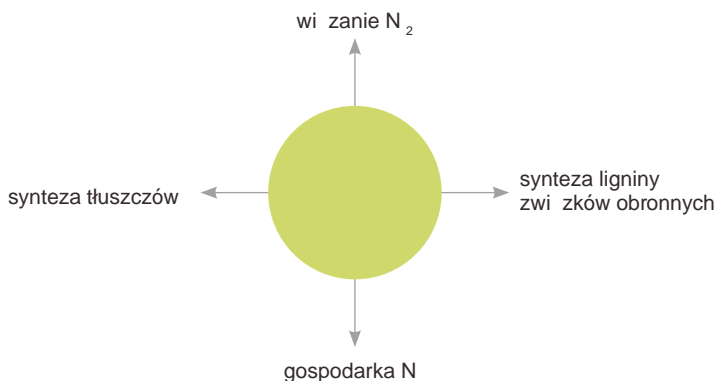
- ogólnych warunków wzrostu rośliny — siedlisko:
  - rodowisko fizyczne wzrostu korzeni,
  - kontrola odczynu i zasobności w składniki pokarmowe;
- bieżące kontroli stanu odżywienia rośliny azotem i pozostałymi składnikami;
- nastręstwo roślin — gospodarka siarką w zmianowaniu.

## Funkcje siarki w rolnie

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 rolnie. Ze względu na złożoność funkcji siarki ujmujemy ją w czterech grupach (ryc. 3.4). Pierwsza grupa procesów

jest podstawowa dla funkcjonowania rośliny o żywotności. Wzrost azotu atmosferycznego przez rośliny motylkowe stanowi różnicę pierwotnej akumulacji azotu w formie organicznej w glebie. Siarka wespół z miedzią i molibdenem decyduje o funkcjonowaniu mechanizmu wiązania  $N_2$  przez rośliny motylkowe. Niedobór siarki w rolnie zmniejsza wydajność procesu redukcji  $N_2$ , co tym samym rzutuje ujemnie na produkcję nasion (roślin strączkowe) czy też paszy (lucerna, koniczyna). Działanie siarki zależy od stanu odżywienia wymienionych roślin innymi składnikami, w tym miedzią, molibdenem, fosforem, a także wapniem i potasem.

Siarka jest niezbędnym składnikiem w procesie redukcji azotanów w rolnie, 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) nagromadzenia siarczanów i białek niskocząsteczkowych — zwiększa się tym samym podatność roślin na atak patogenów, IV) zmniejsza produkcję białka przez rośliny. Związkami ograniczają



Ryc. 3.4. Podstawowe grupy funkcji siarki w rolnie

Tabela 3.2. Choroby rolin uprawnych kontrolowane przez siarkę<sup>1</sup>

Roślina gospodarcza	Choroba	Patogen
Pszenica	Rdza łąki pszenicy	<i>Puccinia striiformis</i>
	Mączniak prawdziwy	<i>Erysiphe graminis</i>
Ziemniaki	Parch ziemniaka	<i>Streptomyces scabies</i>
	Zaraza ziemniaka	<i>Phytophthora infestans</i>
	Rizoktonioza	<i>Rhizoctonia solani</i>
Rzepak	Zgorzel siewek	<i>Alternaria brassicae</i>
	Zgnilizna twardek	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
Buraki cukrowe	Brunatna plamistość liści	<i>Ramularia beticola</i>
Krzewy, ogórek	Chłosta kapusty	<i>Plasmodiophora brassicae</i>
Groch	Zgnilizna korzenia	<i>Aphanomyces euteiches</i>

<sup>1</sup> na podstawie Datnoff i in., (2007)

cyjni syntez białek w roślinie 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 za-

wsze rozpatrywać poprzez efektywność zastosowanego azotu. Im stan odżywienia rośliny siarką jest bliżej 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 produkcji 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:

### ZBOJA:

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

### RZEPAK:

- lepsze przezimowanie, bo lepiej wykształcona tkanka mechaniczna, większy skrobi w liściach;
- dynamiczny wzrost w okresie wiosennego ruszenia rośliny, bo lepsze pobranie azotu;
- większy pędów bocznych i kwiatów, bo większe pobranie azotu;
- większy zawieszonych tłuszczyn, bo kwiaty o intensywnie oliwkowej barwie przyciągają pszczoły;
- większa zawartość tłuszczów, gdy siarka warunkuje ich syntezę.

### STRĄCZKOWE:

- większe tempo wzrostu  $N_2$ , bo siarka jest czynnikiem krytycznym; duży wigor wzrostu roślin, gdy większe pobranie azotu;
- większy zawieszonych tłuszczyn i nasion w tłuszczynach;
- większa zawartość tłuszczów, gdy siarka jest niezbędna w procesie syntezy.

### OKOPOWE:

Lepsze wykorzystanie energii słonecznej we wczesnych fazach rośliny, gdy

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



## WARZYWA:

- wi ksze tempo wzrostu, gdy siarka stymuluje procesy przemian azotu i produkcji biomasy;
- mniejsza zawarto azotanów, gdy siarka, zwi kszej c tempo syntezy białek, zmniejsza pul azotanów w ro linie;
- zwi kszone produkcja zwi zków cennych ywieniowo, takich jak karoten, witamina C, lecz tak e dotyczy: karotenu (wit. A), biotyny (H), tiamina (B<sub>1</sub>);
- zwi kszone zawarto błonnika;
- poprawa walorów smakowych i aromatyczno ci warzyw cebulowych: cebula, czosnek;
- zwi kszone zawarto olejków eterycznych (cykloalliina — cebula i chrzan, allicyna — czosnek).

## U YTKI ZIELONE:

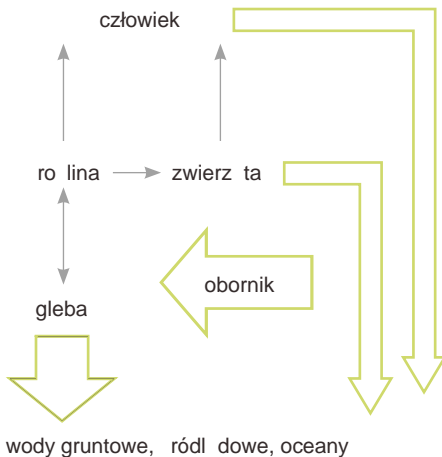
- stymulacja procesów wi zania N<sub>2</sub> przez ro liny motylkowate pastewne, uprawiane w mieszankach z trawami lub rosn ce na trwałych u ytkach zielonych;
- zmniejszone zagro enie azotanami w młodej runi, gdy przyspiesza tempo przemian azotu, jednocze nie stymuluj c produkcj masy zielonej.



# Wap

## Wap w łauchu pokarmowym

Wap 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 wap 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 rośliny dwuliścienne, a z uprawnych do głównych zalicza się rzepak, w drzewach kolejno rośliny motylkowe. 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. Właściwość łauchu pokarmowego przepływu wapnia jest wielokierunkowa, jak przedstawiono na poniższym schemacie:



Ryc. 4.1. Ogólny schemat kręta wapnia w środowisku

Rola wapnia w organizmie zwierzęcym jest nie do przecenienia. Pierwiastek ten jest do minimum 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, elazem, a uwaga w produkcji mleka. Stąd 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 po wycieleniu i w trakcie laktacji. Warunkiem dobrego zaopatrzenia zwierzęt w wapń jest dobra jakość pasz. Bogate w wapń nasiona, głównie roślin strączkowych, krzyżowych (makuchy, rutę). W grupie pasz obywatel cennym źródłem wapnia są lucerna, koniczyzna, a ubogim trawy. Wiskzo wapnia pobranego w paszach ulega wydaleniu w postaci kału, który podlega następnie klasycznemu, rolniczemu recyklingowi i trafia w formie obornika czy tęgnojowicy z powrotem do gleby.

Człowiek, analogicznie jak zwierzęta, wymaga dobrego zaopatrzenia w wapń, który stanowi około 2% masy ciała. Wiskzo, gdy 97–99% składnika zawarta jest w kościach i zębach. Pozostała znajduje się w płynach ustrojowych, pełni analogiczne funkcje życiowe jak u zwierzęt. Zapotrzebowanie dobowe człowieka dorosłego waha się od 700 do 1000 mg. Szczególnie wrażliwe na zaopatrzenie w wapń 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-

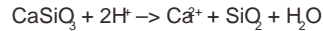
nuj nasiona, zwłaszcza roślin strączkowych i warzywa, takie jak: brokuł, jarmuż, kapusta, sałata, natka pietruszki, warzywa strączkowe. Wchłanianie wapnia jest silnie związane z zawartością witaminy D, którą dostarczają mleko, jaja, a także chleb. Witamina ta powstaje także samoistnie w skórze wystawionej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

## Wapń w glebie

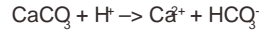
Zawartość całkowita wapnia w warstwie organicznej gleb w Polsce miecisiekier w zakresie od 3600 do 11 700 kg CaO kg ha<sup>-1</sup>. Najuboższe w składnikach obszary pokrywające Polskę to południe i południowy wschód. Na północy kraju zawartość wapnia w glebie jest zdecydowanie większa, gdy kształtuje się średnio na poziomie 16 800 CaO kg ha<sup>-1</sup>. W podglebiu zawartość składnika waha się od 6600 CaO kg ha<sup>-1</sup> w przeważającej części kraju po 90 000 CaO kg ha<sup>-1</sup> na Warmii i Mazurach. Stan zawartości wapnia 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<sup>2+</sup> (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 szeregi minerałów bogatych w wapń, obecnych w skałach wulkanicznych (kalcyt, dolomit), lecz głównie w minerałach ilastych pierwotnych (krzemianach, glinokrzemianach, w glaukonach, apatytach, gipsie). Związki te w glebie, w obecności kwasów, ulegają rozpuszczeniu,

uwalniając wapń i inne, zależnie od składu chemicznego, składniki:

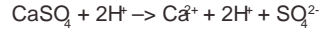
1. krzemiany:



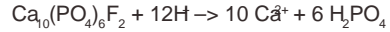
2. w gliny:



3. gips



4. fosforyty:



wartość wapnia w glebowym kompleksie sorpcyjnym zestawiono w tabeli 4.1 i 4.2. Optymalna zawartość powinna 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<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>) z jednoczesnym spadkiem udziału kationów zasadowych, zwłaszcza wapnia (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>) (ryc. 4.2). W kolejnym etapie przemian wapnia w glebie dochodzi do związania jonów wapnia z jonem wodoroglanowym, co prowadzi do jego wymycia:

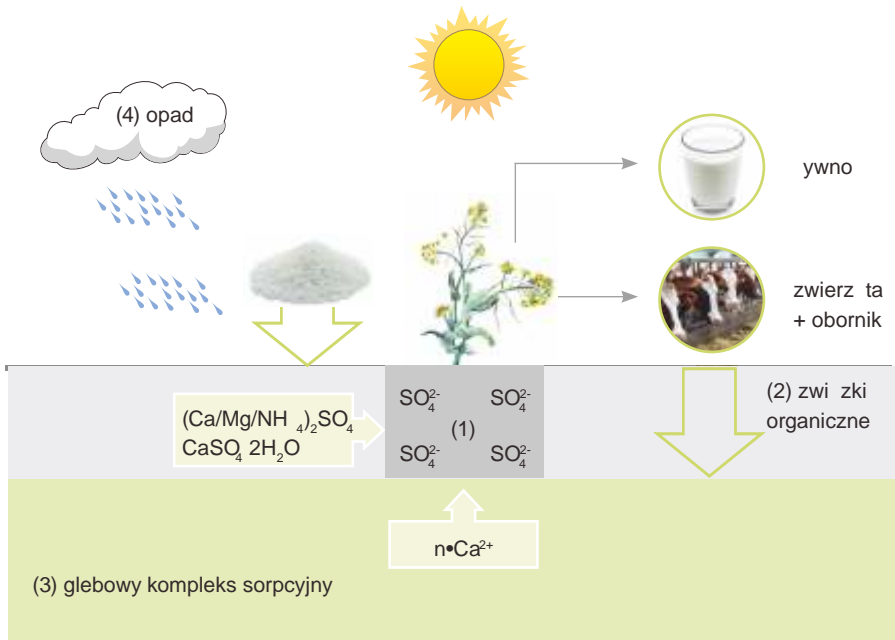


Ubytek związanego Ca<sup>2+</sup> z glebowego kompleksu sorpcyjnego jest silnym sygnałem, wskazującym na zakłócenie warunków wzrostu roślin uprawnych. Działanie tego czynnika ujawnia się wcześniej, jeszcze przed wyraźnym spadkiem odczynu gleby. Pogłębiamy się ujemny bilans wapnia, co wynika z postępującego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

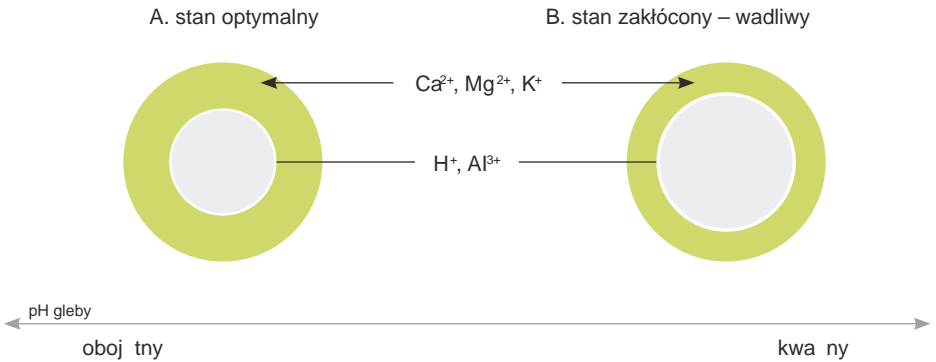


Tabela 4.1. Optymalny skład glebowego kompleksu sorpcyjnego <sup>1</sup>

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

<sup>1</sup> Schonbeck (www.vabf.org)

Ryc. 4.2. ródła i kr enie wapna w rodowisku



Ryc. 4.3. Reakcja glebowego kompleksu sorpcyjnego na zakwaszenie

## Wap w ro linie

### Pobieranie

Wap pobierany jest przez rośliny z gleby tylko w formie kationowej, jonu  $\text{Ca}^{2+}$  (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 te strączkowe i motylkowe pastewne. Tak znaczna akumulacja w korzeniach wynika z kilku przyczyn. Po pierwsze wap jest składnikiem błazki rodkowej komórek, czyli części anatomicznej rośliny odpowiedzialnej za integralność tkanek i całych roślin. Po drugie wap zawarty w korzeniach jest naturalnym rezerwowo rośliny w okresie intensywnego wzrostu, a zwłaszcza w okresie dojrzewania, gdy roślino pobierania wapnia z gleby jest bardzo ograniczona z powodu niewielkiego wzrostu korzeni w głębi profilu glebowego. To właśnie wskazuje na niezbyt dużą ilość 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 wap zawarty w komórkach korze-

nia i w częściach nadziemnych spełnia ważną rolę ochronną, gdy 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 jest to efektywnie, wespół z potasem kontrolowana gospodarka wodna rośliny, poprzez regulację pracy aparatów szparkowych.

## Funkcje w ro linie

Rośliny uprawne potrzebują odpowiednich, zależnie od gatunku ilości wapnia ( $\text{Ca}^{2+}$ ) (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. Ciężkie 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, gdy:

- zapewnia prawidłowy wzrost roślin; odpowiedzialny za procesy podziału komórek i wzrostu, zarówno korzeni, jak i części 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 błazki rodowej komórek;
- zwiększa zdrowotność roślin, jako składnik błazki rodowej komórek hamuje inwazyjność patogenów, głównie grzybów;
- kontroluje gospodarkę wodną rośliny, regulując współzależność z potasem i chlorem dziennego rytmu aparatów szparkowych;
- stymuluje zawiązywanie się brodawek korzeniowych przez rośliny strączkowe (grochdy, bobik, łubiny, wyki) oraz motylkowe pastewne (koniczyny, lucerna).

Objawy niedoboru wapnia są wysoce specyficzne i przejawiają się:

- zamieraniem stopnia wzrostu korzeni i części nadziemnych;
- skróceniem międzywęźli (zakłócenie podziałów komórek wzrostowych w węzłach), a także ujawnieniem specyficznych chorób zwanych suchymi zgniliznami pomidorów;
- pseudowicieniście fuzaryjne – rzepak.

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

- uprawne: bobik, lucerna, rzepak, jęczmień, burak cukrowy, konopie;
- chwasty: gorczyca polna, nostryk łąkowy, ostrożeń polny, owies głuchy.

Tabela 4.2. Poziom wrażliwość roślin na stopień wysycenia glebowego kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi i wapniami<sup>1</sup>, %

Udział kationów zasadowych	Udział wapnia, Ca <sup>2+</sup>	Poziom wrażliwość roślin
<45	<35	Zbyt niski dla większości roślin
45–65	35–55	Umiarkowany dla roślin tolerancyjnych na zakwaszenie
66–85	56–70	Optimalny dla roślin tolerujących zakwaszenie
>85	>70	Optimalny dla roślin nietolerujących zakwaszenia

<sup>1</sup> Grzebisz 2009 (za Mehlich, 1978)

Wiskoźba, poza jęczmieniem, toleruje niedostateczną zawartość wapnia w glebie, lecz zawsze kosztem obniżenia plonu rośliny cennej (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 stymu-

lację 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 ograniczenia presji patogenów
- zwiększonej asymilacji  $N_2$  w następstwie większej nodulacji korzeni roślin strączkowych i motylkowatych.



# Skutki wzrastaj ce go zakwaszenia gleb uprawnych

## Toksyczny glin

Podstawowym skutkiem zakwaszenia gleby jest spadek odczynu (pH), który prowadzi do uruchomienia si zwi zków toksycznych, głównie glinu i manganu. Zwi zki te pojawiaj si w glebie kwa nej (pH < 5,5), lecz dopiero w glebie bardzo kwa nej (< 4,5) pojawia si  $Al^{3+}$ , zagra aj cy funkcjonowaniu ro lin uprawnych. Ujemny wpływ glinu na ro liny uprawne trzeba rozpatrywa w trzech grupach wła ciwo ci gleby:

## BIOLOGICZNE:

- zahamowanie wzrostu korzeni, a tym samym redukcja systemu korzeniowego; wypadania ro lin z pola — przerzedzenie łanów ro lin uprawnych;

skutki:

- zredukowana obj to gleby eksploatowana przez korzenie, prowadz ca do mniejszego pobrania azotanów i składników mało ruchliwych, takich jak fosfor i potas
- wzrost ryzyka wymycia azotanów, a tak e siarczanów z gleby,
- zmniejszona efektywno azotu z powodu niedoboru fosforu i potasu,
- zmniejszona aktywno mikroorganizmów w glebie;

skutki:

- zredukowane tempo rozkładu materii organicznej;
- ograniczona, a nawet zredukowana nityfikacja > mniej azotu azotanowego w glebie,
- mniejsza aktywno mikroorganizmów symbiotycznych, wi cych  $N_2$ .

## CHEMICZNE:

- silne uwstecznienie fosforu,
- mniejsza zawarto wapnia i magnezu w glebowym kompleksie sorpcyjnym;
- uruchamianie si zwi zków toksycznych, przykładowo metali ci kich;

skutki:

- zwi kszone ryzyko uwsteczniania fosforu z nawozów;
- wolniejsze tempo pobierania azotu z nawozów;
- wzrost pobierania niepo danych składników przez ro liny — wzrost zagrożenia dla zdrowia człowieka;

## FIZYCZNE:

- pogorszenie si struktury gleby;

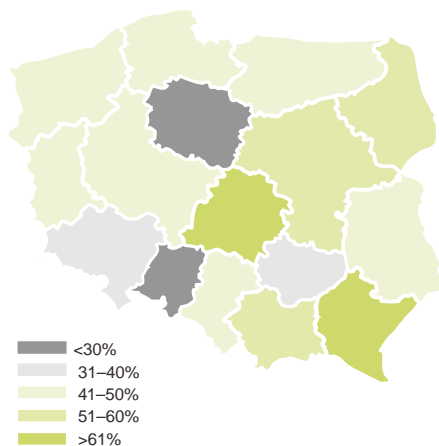
skutki:

- mniejsza infiltracja wody opadowej;
- wzrost podatno ci gleby na zaskorupianie si ;
- słaby wzrost korzeni w glebie zag szczonej.

Zakłócenie wła ciwo ci gleb uprawnych w ka dym z wymienionych obszarów prowadzi do spadku yzno ci, a tym samym ich produktywno ci. Gleby o odczynie kwa nym, a zwłaszcza bardzo kwa nym s zarówno rolniczo, jak i rolowiskowo dysfunkcjonalne, wymagaj c natychmiastowej naprawy.

## Stan zakwaszenia gleb w Polsce

Gleby uprawne w Polsce ze względu na to, że w większości powstały ze skał piaszczystych, cechują się niską, naturalną podatnością 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 całym 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 dominiuje w 7 województwach, obejmujących zważyty obszar Polski północno-zachodniej oraz woj. łódzkie i lubelskie. W kolejnych trzech województwach udział gleb dysfunkcyjnych



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

przekroczył 50%, a w dwóch – 60%. Wyjątkiem woj. łódzkie, obszar gleb dysfunkcyjnych obejmuje obszary Polski centralnej i wschodniej.

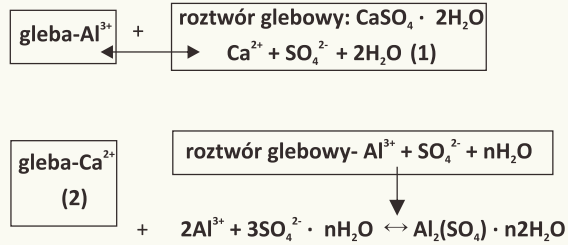
## Kontrola toksycznego glinu

Podstawowym zadaniem rolnika jest neutralizacja toksycznego glinu, gdy 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 wapnia na wozowego pokrywa zaledwie 10–20% strat. W tym miejscu trzeba postawić pytanie: czy można kontrolować aktywność toksycznego glinu, stosując siarczan wapnia, a jest to składnik nawozu AgroSulCa®? Kontrola  $Al^{3+}$  jest możliwa, gdy 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 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 koagulanty, a więc może po prostu stymulować procesy czyszczenia poszczególnych części 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 wyłuszczeniu z roztworu glebowego.

Zachodzące w glebie procesy przedstawiają podane niżej równania i schematy



## Diagnostyka potrzeb nawozowych

Diagnostyka potrzeb nawozowych uprawia - nej ro liny obejmuje kilka uzupełniają cych si procesów:

1. Rozpoznanie wra liwo ci ro liny na dany składnik mineralny;
2. Oznaczenie i ocena zawarto ci składnika przyswajalnego w glebie;
3. Okre lenie stanu od ywienia ro lin w fa zie/stadium krytycznym zapotrzebowa nia na dany składnik.

### Wra liwo ro lin uprawnych

Wra liwo ro lin uprawnych na siark i wap jest do zró nicowana gatunkowo. Zdecydo wanie łatwiej okre li reakcj gatunkow ro lin dla ka dego składnika oddzielnie. Wy dzielenie grup wspólnych jest trudne, gdy wap cechuje du a uniwersalno , a siark specyficzno wpływu na funkcjonowanie ro liny uprawnej (tab. 6.1).

Tabela 6.1. Wra liwo ro lin uprawianych na gruntach ornych na wap i siark

Ro liny uprawne	Ca	S	Ro liny uprawne	Ca	S
Pszenica	+	++	Kapusty głowiasta	+++	+++
J czmie	++	++	Kapusta włoska	+++	++
yto, pszen yto, owies	O	+	Kapusta brukselka	++	++
Kukurydza	+	+	Kalafior	++	+++
Rzepak	+++	+++	Brokuły	++	++
Burak cukrowy	+	+	Kalarepa	++	++
Ziemniaki	+	+	Cebula, czosnek	++	+++
Groch, bób, łubin biały	++	++	Trawy pastewne	O	O
Łubin ółty, w skolistny	++	+	Ł ki, pastwiska	+	+
Lucerna	+++	++	Motylkowe pastewne	++	++

+++ – bardzo du a; ++ – du a; + – standardowa; O – mała

Na podstawie danych zawartych w tabeli 6.1 można wyróżnić cztery grupy uprawy rolnej na obszarach uprawy polowej na obszarach lub jeden ze składników:

1. Bardzo duża uprawa rolnej na obszarach składników: rzepak, warzywa krzyżowe,
2. Duża uprawa rolnej na obszarach składników: strączkowe, takie jak: groch, bób, bobik, tulin biały, cebula, czosnek, lucerna;
3. Podwyższona uprawa rolnej na obszarach składników: buraki cukrowe, buraki jadalne, pszenica konsumpcyjna, jęczmień, ziemniaki;
4. Mała uprawa rolnej na obszarach składników: pozostałe zboża, trawy pastewne.

## Diagnostyka potrzeb nawożenia siarki

Drugim etapem diagnostyki nawozowej uprawy jest ocena zawartości składników przyswajalnych w glebie. W odniesieniu do siarki najprostszą metodą jest oznaczenie zawartości siarki siarczanowej (tzw. siarka mineralna —  $S-SO_4$ ) w glebie, co najmniej do głębokości 60 cm. Próbkę gleby, stosując nawóz typu AgroSulCa®, najlepiej pobierać po zbiorze uprawy lub jesienią. Niski stan zawartości

siarki mineralnej w glebie jest jednoznaczny wskaźnik 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 rośliny siarką sprowadza się do określenia reakcji rośliny na zaopatrzenie w składniki pokarmowe lub/i reakcji na zastosowanie nawozu. 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 zawartości wskaźników. Do tego celu używa się całych roślin, zwłaszcza w młodych stadiach rozwoju lub wybranych częściach w określonych stadiach rozwoju. Roślina pobiera siarkę w określonym stadium rozwoju, lecz w trakcie dojrzałości stadium, aby móc w trakcie wegetacji skorygować stan odżywienia, a w odniesieniu do nawozu typu AgroSulCa® prognozować reakcję plonotwórczo uprawianej rośliny. W tabeli 6.3 zestawiono wartości optymalne dla głównych upraw.

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

Klasa zasobności	Zawartość $S-SO_4$ 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

<sup>1</sup> Horneck i in. (2011)



Tabela 6.3. Zakresy optymalnego od ywienia wybranych ro lin uprawnych siark <sup>1</sup>

Ro lina	Faza rozwojowa	Cz wska nikowa	Zawarto S % s.m.
Pszenica ozima <sup>1,2</sup>	Pełnia krzewienia/kłoszenie	Całe ro liny	0,15–0,4
J czmie jary <sup>1,2</sup>			0,15–0,4
Owies <sup>2</sup>	Butonizacja	Li cie górne	0,21–0,4
Kukurydza <sup>1</sup> Kukurydza <sup>3</sup>	Stadium 6(7) li cia Li podkolbowy	Całe ro liny Cały li	0,2–0,3 0,15–0,6
Rzepaki	Pocz tek kwitnienia	Górne, rozwini te li cie	0,65–0,9
Buraki cukrowe <sup>1</sup>		Ogonki li ci	0,12–0,15
Ziemniaki <sup>1</sup>	Pocz tek tuberyzacji	Ogonki li ci górnych	0,22–0,25
Soja <sup>3</sup>	Wczesny wzrost	Li cie dojrzałe	0,15–0,6
Rajgras <sup>2</sup>	Wczesny wzrost	Całe ro liny	0,10–0,25
Lucerna <sup>2,3</sup>	Pocz tek kwitnienia	Górna cz 15 cm	0,26–0,50

<sup>1</sup>Fageria (2008) ; <sup>2</sup> Jez (2008); <sup>3</sup> Campbell (2000)

## Diagnostyka potrzeb nawo enia wapniem

Zawarto przyswajalnego wapnia w glebie nie jest rutynowo oznaczana pod typowymi uprawami rolniczymi. W Polsce jak dot d taki system nie funkcjonuje. Jednak e wykonanie tego oznaczenia jest mo liwe, gdy wykonu je si je w wielu stanach USA, a w najbli szym s siedztwie w Republice Czeskiej. Warunkiem wykonania analizy gleby na zawarto przyswajalnego wapnia jest dobranie odpowied niego testu glebowego. Takie warunki speł nia test Mehlicha. W tabeli 6.4 przedstawiono klasy zawarto ci wapnia przyswajalnego dla

podstawowych kategorii agronomicznej gle by, wyst puj cych w Polsce. W produkcji ogrodniczej i sadowniczej zawar to przyswajalnego wapnia w glebach mi neralnych oznacz si metoda uniwersaln . Szczegółów charakterystyk warto ci gra nicznych zawiera pozycja „Nawo enie ro lin ogrodniczych” pod red. Tyksi skiego (2003). Analogicznie jak dla siarki okre lenie sta nu od ywienia ro lin wapniem dokonuje si w celu korekty stanu od ywienia, co jest prak tykowane w sadownictwie lub dla prognozy plonu. Stosuj c nawóz doglebowo, w rachub wchodzi tylko drugi z wymienionych aspek tów post powania diagnostycznego (tab. 6.5).

Tabela 6.4. Klasy zawartości przyswajalnego wapnia w glebie<sup>1</sup>, mg kg<sup>-1</sup> 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

<sup>1</sup>wg metody Mehlich-3 (Heckman, www.rca.rudgers.edu) dostosowano do warunków Polski

Tabela 6.5. Zakresy optymalnego odżywienia wybranych roślin uprawnych wapniem<sup>1</sup>

Roślina	Faza rozwojowa	Czynnikowa	Zawartość Ca, % s.m.
Pszonka ozima <sup>1</sup>	Początek strzelenia w dół	Całe rośliny	0,40–1,0
żyto ozime <sup>1</sup>			0,35–1,0
Jęczmień jary <sup>1</sup>			0,30–1,0
Owies <sup>2</sup>	Butonizacja	Liście górne	0,21–0,5
Kukurydza <sup>1</sup>	Stadium 6(7) liścia	W pełni rozwinięte liście	0,30–1,0
Kukurydza <sup>2</sup>	Wyrzucanie wiechy	Liść podkolbowy	0,31–0,60
Rzepak <sup>1</sup>	Początek kwitnienia		1,00–2,0
Buraki cukrowe <sup>1</sup>	Początek lipca	Rozwinięte liście	0,70–2,0
Ziemniaki <sup>1</sup>	Początek kwitnienia	Rozwinięte liście	0,60–2,0
Trawy pastewne <sup>1</sup>	Początek kwitnienia	Część nadziemna	0,60–1,2

<sup>1</sup>Bergmann (1992), <sup>2</sup>Kelling, Schulte (2004)

## Bilans siarki i wapnia w Polsce

### Założenia bilansowe

Bilans składników mineralnych w ujęciu „na powierzchni pola” uwzględnia zgodnie z ogólnymi metodami dwie grupy czynników:

1. Ilość składnika wprowadzonego z różnymi rodzajami dóbr 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 użytkowym 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, gdy oficjalne dane GUS nie uwzględniają rodzajów 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 motylkowe	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 – produkcj nawozów naturalnych oszacowano na podstawie obsady inwentarza, stosuj c wska nik Du a Jednostka Przeliczeniowa (DJP) i 10 t obornika na 1 DJP. W opracowaniu przyj to 6 kg CaO na 1 t obornika (= 4,25 kg Ca).

Ilo składników wnoszona w materiale siewnym (nasiona, ziarno, sadzeniaki); w tym przypadku najlepiej posłu y si obliczenia mi własnymi na podstawie dawki i zawarto ci składnika (pomiar własny lub dane standardowe); w przedstawionym bilansie ten komponent bilansu pomini to jako ilo ciowo mało istotny.

Opad atmosferyczny – na powierzchni pola siarka i wap docieraj z atmosfery w formie opadu mokrego (deszcz) lub suchego; w ni niejszym opracowaniu posłu ono si dany mi publikowanymi w corocznych raportach o stanie rodowiska Wojewódzkich Inspektoratów Ochrony rodowiska. Saldo bilansowe opracowano dla dwóch grup upraw. Pierwsz stanowią ro liny uprawiane na gruntach obsiewanych, a drug ł ki trwałe. W tab. 7.1. zamieszczono grupy ro lin i warto ci współczynników nagromadzenia jednostkowego.

## Bilans siarki

Podstawowym, naturalnym ródłem siarki jest opad atmosferyczny, wahaj c si nie co poni ej 4 kg S/ha w lubuskim i podlaskim do ponad 9 kg S/ha w woj. wielkopolskim, wynosz c rednio dla Polski prawie 6,0 kg S/ha. Klasyfikacja województw, przyjmuj c skal 2 kg S/ha, przedstawia si nast puj co:

- a. < 4: lubuskie, podlaskie;
- b. 4,1-6: lubelskie, małopolskie, opolskie, podkarpackie, pomorskie, warmi sko-mazurskie, zachodniopomorskie;
- c. 6,1-8: dolno lskie, łódzkie, kujawsko-pomorskie, wi tokrzyskie, mazowieckie;
- d. >8,1: lskie, wielkopolskie.

Dopływ siarki z obornika okazał si zdecydowanie mniejszy, wahaj c si od poni ej 1 kg S/ha w dolno lskim do prawie 4 kg/ha w wielkopolskim, wynosz c rednio dla Polski 2,0 kg/ha. Klasyfikacja województw, przyjmuj c skal 1 kg S/ha, przedstawia si nast puj co:

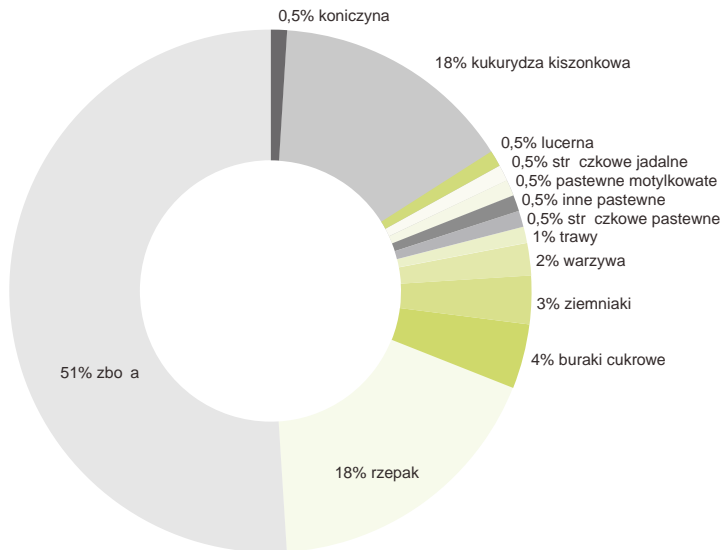
- a. < 1: dolno lskie, lubuskie, zachodniopomorskie;
- b. 1–2: lubelskie, małopolskie, opolskie, podkarpackie, pomorskie, lskie;
- c. 2–3: kujawsko-pomorskie, łódzkie, mazowieckie, warmi sko-mazurskie,
- d. >3: wielkopolskie, podlaskie.

Akumulacja siarki w plonach wahała si od poni ej 15 kg S/ha w woj. wi tokrzyskim do ponad 29 kg S/ha w opolskim, wynosz c rednio dla Polski 20 kg/ha. Klasyfikacja województw, przyjmuj c skal 4 kg S/ha, przedstawia si nast puj co:

- a. <18: wi tokrzyskie, małopolskie, lubelskie, mazowieckie, podkarpackie,
- b. 19–22: lubuskie, podlaskie, warmi sko-mazurskie, pomorskie, lskie,
- c. 23–26: kujawsko-pomorskie, wielkopolskie, zachodniopomorskie, dolno lskie,
- d. >26: opolskie.

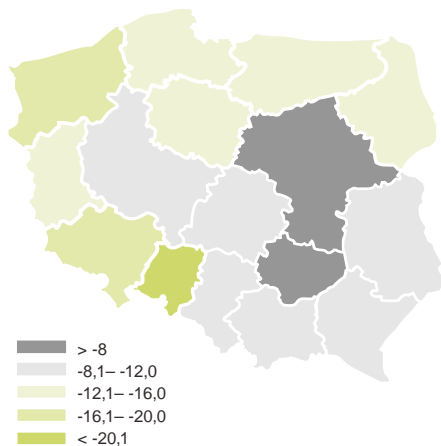
W strukturze akumulacji główn rolnodgrywaj zbo a, co jednoznacznie wynika z najwi kszego arealu (ryc. 7.1). Drugie miejsce równorz dnie zajmuj rzepak i kukurydza kiszonkowa. Do trzeciej grupy nale y zaliczy buraki cukrowe, ziemniaki i warzywa uprawy polowej, które ł cznie stanowi 9%. Udział pozostałych grup ro lin nie przekracza 1%.

Efektom bilansu jest zawsze saldo bilansowe, które dla siarki nie uwzgl dnia, ze wzgl du na brak danych, składnika dopływaj cego do pól uprawnych — obsiewanych w formie nawozów. Warto salda bilansowego w latach 2010–2012 była ujemna, wynosz c rednio dla Polski -12,7 kg S/ha (ryc. 7.2). Dla adnego z województw nie stwierdzono warto ci do



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

datniej, co wskazuje na pogłębienie się deficytu siarki w produkcji roślinnej w Polsce. Na podstawie uzyskanych wyników powierzchni 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 wino zostało 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 głównie w wiosną 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<sup>-1</sup>. Stąd, pomimo zdecydowanie bilansu ujemnego, zawartość siarki w glebie, co wynika z recyklingu słomy rzepakowej, jest duża.

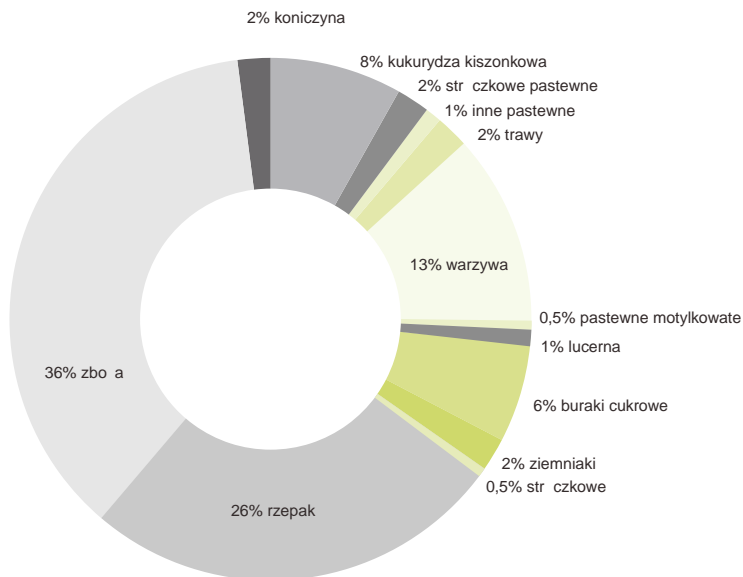
## Bilans wapnia

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. podkarpackiej, w łódzkiej, małopolskiej i podlaskiej do ponad 60 kg Ca/ha w opolskim, wynosząc średnio dla Polski zaledwie 26 kg Ca/ha. Drugim źródłem wapnia są nawozy naturalne, dostarczające średnio około 18 kg Ca/ha,

wahając się od poniżej 10 kg Ca/ha w regionach zachodniej Polski do powyżej 30 kg Ca/ha w woj. wielkopolskiej i podlaskiej. Opad atmosferyczny dostarcza średniorocznie około 6 kg Ca/ha, wahając się od nieco poniżej 4 kg Ca/ha w lubuskim, w łódzkiej do ponad 9 kg Ca/ha w woj. wielkopolskiej i łódzkiej. Klasyfikacja województw wg dopływu wapnia do gleby, przyjmując skalę 20 kg Ca/ha, przedstawia się następująco:

1. <30: małopolskie, podkarpackie, łódzkie;
2. 31–50: lubelskie, lubuskie, łódzkie, mazowieckie, podlaskie, łódzkie;
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. podlaskiej



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, łódzkie, wielkopolskie;
3. 41–50: małopolskie, kujawsko-pomorskie, zachodniopomorskie, dolnośląskie;
4. 50: opolskie.

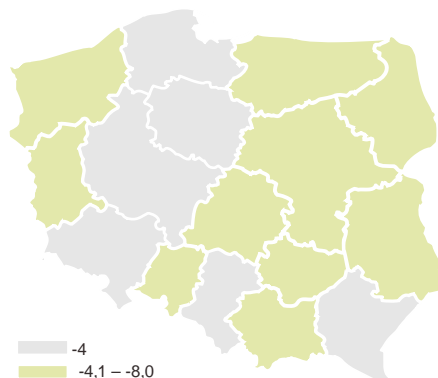
W strukturze akumulacji głównych roślin uprawnych zbożowa, co jednoznacznie wynika z największego arealu (ryc. 7.4). Drugie miejsce równorzędnie zajmuje rzepak, trzecie warzywa gruntowe, czwarte – kukurydza kiszonkowa, a piąte – buraki cukrowe. Udział pozostałych grup roślin waha się od 0 do 2%.

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 województwo o zdecydowanie małej akumulacji siarki w płodach. Z tej przyczyny bilans składnika jest ujemny, lecz niezbyt duży.

Trwałe użytki zielone zajmują powierzchnię 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 względnego pozytywnego stanu jest niska produkcja, co prowadzi do małego deficytu składnika. Na podstawie



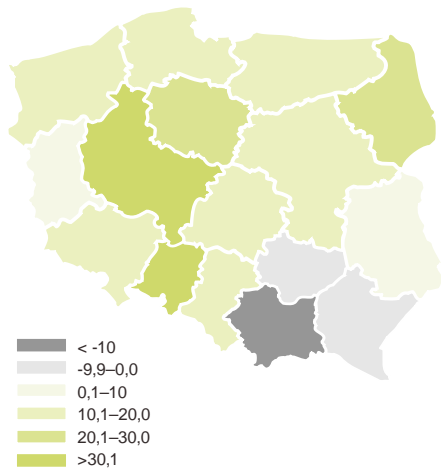
Ryc. 7.3. Saldo bilansowe siarki dla trwałych użytków zielonych, średnia 2010–2012

wielkości akumulacji siarki wydzielono trzy zwarte regiony:

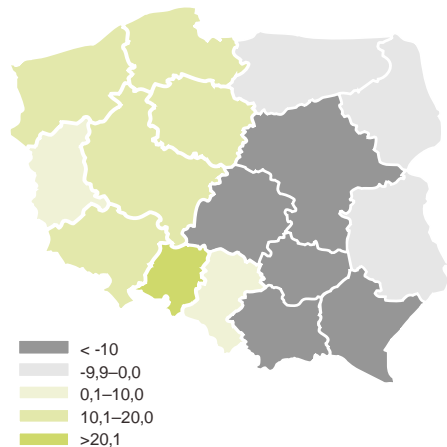
1. Północno-zachodni: lubuskie, zachodniopomorskie;
2. Centralny: pomorskie, kujawsko-pomorskie, wielkopolskie, dolnośląskie;
3. Centralno-wschodni: warmińsko-mazurskie, podlaskie, mazowieckie, łódzkie, opolskie, wielkopolskie, lubelskie, małopolskie.
4. Pozostałe dwa województwa, to znaczy łódzkie i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

Saldo bilansowe wapnia na gruntach obszarów 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, wielkopolskie; bilans wapnia jest zdecydowanie ujemny, a przyczyną jest bardzo mała zużycie nawozów wapniowych;



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



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

2. Dodatnim — krytycznym; warto salda stanowi około 50% warto ci akumulacji składnika w plonach:
  - a. regiony centralno-wschodnie: łódzkie, mazowieckie, lubelskie; dolno laskie, laskie;
  - b. regiony północno-zachodnie: pomorskie, zachodniopomorskie, lubuskie;
3. Dodatnim — zagrożonym; warto salda pokrywa  $\frac{3}{4}$  akumulacji składnika w plonie:
  - a. kujawsko-pomorskie, podlaskie;
4. Dodatnim — zbilansowanym; warto salda przekracza akumulacji składnika: wielkopolskie, opolskie.

Warto salda bilansowego wapnia dla ł k trwałych przedstawia tak e bardzo zły ony obraz gospodarki wapnem w Polsce (ryc. 7.6). Stan zagrożenia uj to w trzech kategoriach:

1. Ujemny — obejmuje Polsk centralno-wschodni , osiem województw;
2. Dodatni — krytyczny; warto salda stanowi około  $\frac{1}{2}$  warto ci akumulacji składnika w plonach; obejmuje obszar Polski centralno-zachodniej;
3. Dodatni — zagrożony; warto salda pokrywa  $\frac{3}{4}$  akumulacji składnika w plonie: opolskie.





Kwa na gleba, toksyczny glin — wypadanie ro lin j czmienia ozimego z lanu



Quasi-wi dni cie 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

