

**Agnieszka Rutkowska**

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

## ŚRODOWISKOWE SKUTKI NIEZRÓWNOWAŻONEGO NAWOŻENIA AZOTEM I POTASEM\*

**Słowa kluczowe:** bilans potasu, bilans azotu, potas wymienny, potas niewymienny, klasy zawartości potasu

---

### Wstęp

Niedobory potasu w glebach uprawnych uznaje się za drugi po zakwaszeniu czynnik ograniczający produkcję roślinną w Polsce. Naturalna zawartość potasu w glebach zależy od ich budowy mineralogicznej, zwłaszcza od zawartości minerałów ilastych. Wietrzenie minerałów prowadzące do uwolnienia potasu, jest procesem bardzo powolnym, dlatego też zaspokojenie potrzeb pokarmowych roślin i uzyskanie plonów odpowiadających potencjałowi siedliska wymaga stałego uzupełniania potasu w formie mineralnej, co najmniej na poziomie przewidywanego wyniesienia wraz z plonem. Od ponad dwudziestu lat potas jest najbardziej deficytowym składnikiem pokarmowym w polskim rolnictwie. Zgodnie z szacunkami GUS (12), zużycie nawozów potasowych w roku gospodarczym 2014/2015 wyniosło zaledwie 33,3 kg czystego składnika na 1 ha UR. Zużycie nawozów azotowych było natomiast ponad dwukrotnie większe i kształtowało się na poziomie 69 kg N·ha<sup>-1</sup> UR. Niekorzystny stosunek potasu do azotu jak również preferowanie wysokoplonujących odmian roślin uprawnych, pobierających duże ilości potasu powoduje, że proces ubożenia gleb postępuje dość szybko. Obecnie, udział gleb Polski o niskiej i bardzo niskiej zawartości tego składnika wynosi 42%. W pracy omówiono zależności pomiędzy azotem i potasem - składnikami wpływającymi na przebieg procesów fizjologicznych w roślinie oraz środowiskowe skutki niewłaściwej gospodarki tymi składnikami.

---

\* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.2 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

## Glebowe zasoby potasu

Pierwotnym źródłem potasu dla roślin jest skała macierzysta. Gleby utworzone z utworów gliniastych, do których należą gliny piaszczyste, piaski gliniaste mocne, gliny i ropy, są naturalnie zasobne w potas. Gleby utworzone z utworów piaszczystych tj. piaski luźne, piaski słabo gliniaste, piaski gliniaste lekkie, wapienie oraz utwory organiczne (torfy), należą do ubogich w ten składnik. Prawie cały potas glebowy (90-98%) występuje w formie mineralnej, związanej (2). W procesach wietrzenia glinokrzemianów pierwotnych dochodzi do uwalniania kationów potasu. Przemiany glinokrzemianów zachodzą bardzo powoli, dlatego pomimo stosunkowo dużej zawartości potasu w warstwie ornej gleb uprawnych, w zakresie od 1000 do 25000 kg K·ha<sup>-1</sup>, jedynie około 1% ogólnej jego ilości jest bezpośrednio dostępne dla roślin. Potas bezpośrednio dostępny w okresie wegetacji występuje w roztworze glebowym. Składnik potencjalnie dostępny dla roślin, tzw. potas przyswajalny pochodzi z zapasów, które uwalniają się stopniowo z wtórnych minerałów ilastych.

Wyróżnia się trzy podstawowe frakcje potasu w glebie:

- 1) frakcję mobilną (rozpuszczalną bądź aktywną), związaną z fazą ciekłą gleby – potas roztworu glebowego,
- 2) frakcję słabo mobilną – potas związany z minerałami ilastymi,
- 3) frakcję niemobilną (rezerwową) – potas strukturalny, związany w minerałach pierwotnych (13).

Stężenie K<sup>+</sup> w roztworze glebowym zależy dynamiki procesów wiązania, tj. sorpcji wymiennej i niewymiennej oraz uwalniania z powierzchni koloidów mineralnych. Procesy wymiany jonu K<sup>+</sup> pomiędzy fazami gleby są odwracalne, a zakłócenie stanu równowagi w roztworze glebowym wywołuje ruch kationów z fazy stałej gleby do roztworu glebowego i odwrotnie (15). Udział frakcji aktywnej w glebach stanowi z reguły mniej niż 1% całkowitej ilości tego składnika, co odpowiada około 100 kg K·ha<sup>-1</sup> w warstwie ornej. Jest to ilość zbyt mała, aby pokryć potrzeby wysoko plonujących roślin, jak rzepak czy burak cukrowy, które pobierają 250-400 kg K·ha<sup>-1</sup> rok. Największe stężenie potasu aktywnego występuje wiosną i zmniejsza się stopniowo w miarę wegetacji roślin.

Potas wymienny występuje jako uwodniony kation na powierzchniach zewnętrznych i krawędziach wtórnych minerałów ilastych oraz cząsteczek glebowej materii organicznej (10). Zależnie od warunków fizycznych środowiska, potas z kompleksu sorpcyjnego gleby uwalniany jest do roztworu glebowego. Proces ten zachodzi intensywnie w okresie wegetacji roślin. W glebach Polski ilość potasu wymiennego wzrasta w miarę zwiększania się zawartości cząstek ilastych w glebie (3).

Minerały ilaste, z których w Polsce przeważa illit, wiążą kationy K<sup>+</sup> w przestrzeniach wewnętrznych na tyle silnie, że stają się one niedostępne dla korzeni roślin. Proces uwalniania K<sup>+</sup> jest bardzo powolny, stąd potas związany z minerałami ilastymi określa się jako niewymienny (trudno wymienny, nieaktywny). W skład tej frakcji wchodzi

również część potasu zawartego w organicznej frakcji gleby. W warunkach małej dostępności formy aktywnej i wymiennej potasu, rośliny pobierają go efektywnie z formy niewymiennej. W glebach Polski udział potasu frakcji niewymiennej w ogólnej puli potasu glebowego jest największy.

W glebach średnich i ciężkich, zasobnych w potas, ponad 50% ogólnej ilości tego pierwiastka stanowi potas strukturalny (nieдоступny), występujący w formach niedostępnych dla roślin. Najbogatszym źródłem potasu strukturalnego są minerały pierwotne, takie jak skałenie czy miki. Proces wietrzenia minerałów glinokrzemianowych i krzemianowych zachodzi jednak bardzo wolno, zależnie od czynników środowiska, przede wszystkim temperatury, odczynu gleby, dostępności wody. W ciągu roku w następstwie zachodzących procesów wietrzenia uwalnia się średnio od 0,1% do 2% potasu.

Potencjał gleby do zaopatrzenia roślin w potas zależy w dużej mierze od zawartości cząstek ilastych a tym samym od kategorii agronomicznej gleby. Im większa zawartość cząstek <0,02 mm w glebie, tym większa zawartość potasu ogółem. Jednocześnie, wraz ze wzrostem zawartości cząstek ilastych, zmniejsza się udział form aktywnych, wymiennych i niewymiennych.

### **Pobieranie potasu przez rośliny**

Rośliny pobierają kationy potasu z roztworu glebowego, którego stężenie wynosi od 5 mmol do ponad 10 mmol. Stężenie potasu w roślinie jest znacznie większe i waha się w granicach 100-200 mmol. Potas dociera do powierzchni korzeni głównie na drodze dyfuzji, z około 20% udziałem przepływu masowego. O bezpośrednim pobieraniu potasu przez roślinę, czyli o ilości kationów  $K^+$  przepływających w jednostce czasu przez błonę cytoplazmatyczną komórki korzenia, decydują :

- stężenie potasu we floemie, które warunkuje ilościowe zapotrzebowanie pędów nadziemnych na ten składnik,
- stężenie kationów  $K^+$  w wakuoli, decydujące o szybkości transportu jonów z komórki korzenia do ksylemu,
- szybkość przemieszczania jonów potasu z apoplastu korzenia przez błonę cytoplazmatyczną do cytoplazmy (4).

W roztworach o bardzo niskim stężeniu potasu, gdy w apoplaście korzenia stężenie jonów  $K^+$  nie przekracza 0,5 mmol, potas pobierany jest aktywnie za pomocą nośników, zgodnie z krzywą HAS ( ang. *high affinity transport system*), wbrew gradientowi elektrochemicznemu. W przypadku roztworów o wysokim stężeniu jonów  $K^+$ , powyżej 0,5-1,0 mmol, transport jonów  $K^+$  przez błonę cytoplazmatyczną przebiega zgodnie z krzywą LATS (ang. *low affinity transport system*), pasywnie, za pomocą białkowych kanałów jonowych, na zasadzie różnic potencjału elektrochemicznego, przy znacznie mniejszej wydajności nośników (8). Zatem o odżywieniu roślin potasem w większym stopniu decydują warunki środowiska aniżeli ich potrzeby pokarmowe (Tab. 1). O dostępności jonów  $K^+$

w roztworze glebowym decyduje natomiast zawartość potasu w fazie stałej gleby (potencjał żywieniowy) oraz zawartość wody w glebie (szybkość transportu). Przy wzroście wartości obu ww. czynników następuje zwiększenie koncentracji  $K^+$  w roztworze glebowym, co stwarza warunki do efektywnego pobierania potasu przez rośliny (11).

Tabela 1.

Czynniki kształtujące dostępność i pobieranie potasu przez rośliny uprawne

Czynnik	Warunki optymalnego pobierania potasu	Ograniczenia pobierania potasu
<b>Środowiskowy</b>		
Naturalna zasobność gleb	gleby gliniaste, bogate w illit	mała zawartość cząstek ilastych – im mniejsza zawartość, tym gleba uboższa w K
Materia organiczna	obecność resztek poźniwnych zawierających łatwo dostępny K	gleby organiczne ubogie w K
Odczyn gleby	optymalny zakres pH 5,5-7,2	problemy poza zakresem optymalnym
Wilgotność gleby	Optymalny zakres dla 70-90% PPW	gleby bardzo suche
Temperatura	Pobieranie zgodne z regułą $Q_{10}$ , min. 15° C, max. 35° C	powyżej 30 (35) ° C
Warunki wzrostu korzeni	gleba wilgotna, a nawet mokra, brak zagęszczonych warstw gleby	niedobór wody w glebie, pH < 5,5
<b>Żywieniowy</b>		
Azot	azot w formie $N-NO_3^-$ stymuluje pobieranie potasu	silny antagonizm pomiędzy jonami $NH_4^+$ i $K^+$
Fosfor	gleby zasobne w P	niedobór ogranicza pobieranie $K^+$
Magnez	gleby umiarkowanie zasobne w Mg	nadmiar Mg ogranicza pobieranie K
Wapń	stymuluje pobieranie K do pH 6,0	konkurencja przy pH > 7,2
Mikroskładniki	mają wpływ, o ile stymulują wzrost systemu korzeniowego	nadmiar ogranicza pobieranie K

Źródło: Grzebisz, 2008 (8)

### Przemiany potasu w glebie

Niezależnie od źródła pochodzenia, potas podlega w glebie następującym procesom: uwalnianiu w wyniku mineralizacji materii organicznej, adsorpcji lub desorpcji przez wtórne minerały ilaste, wiązaniu w glebie (fiksacja) oraz wymywaniu (13).

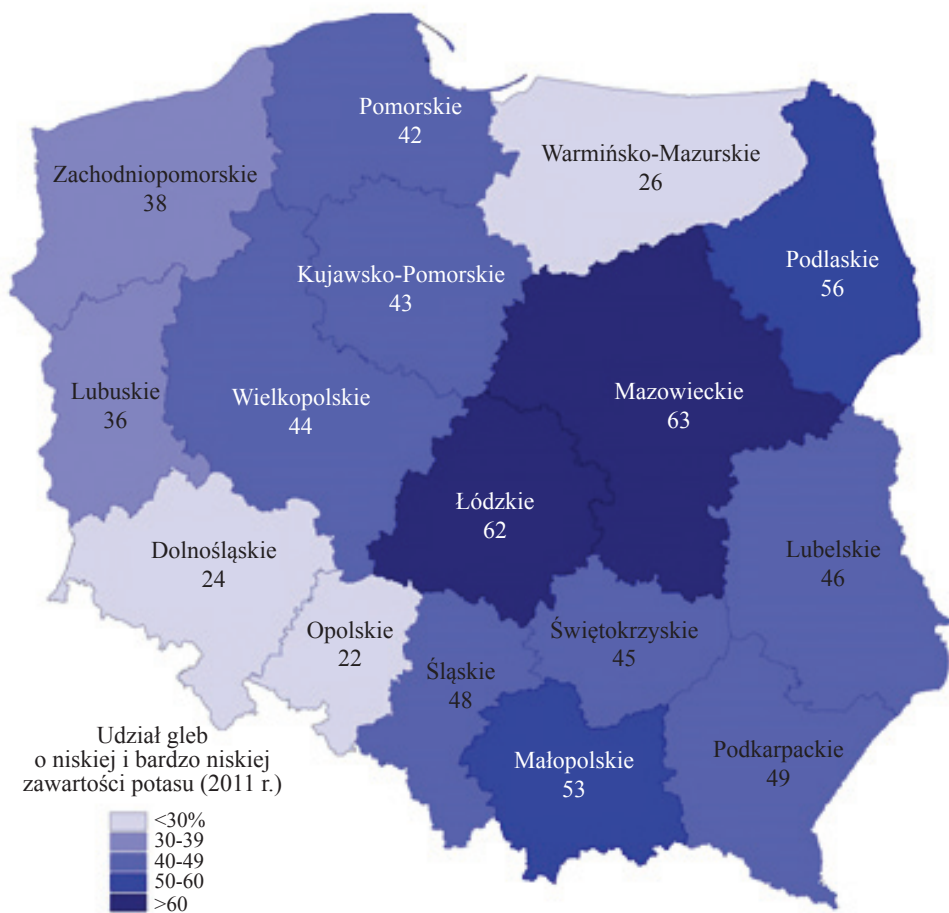
Procesy adsorpcji i desorpcji kationów potasu, czyli ich wymiana pomiędzy roztworem glebowym a kompleksem sorpcyjnym, zachodzą w sposób ciągły i są związane z przemieszczaniem się jonów  $K^+$  pomiędzy fazą stałą i ciekłą gleby (14). Kationy potasu wiązane są słabymi siłami elektrostatycznymi na powierzchni minerałów ilastych lub silniejszymi na ich bocznych krawędziach. Do czynników wpływających na wymianę kationów należy zaliczyć: stężenie jonów  $K^+$  w roztworze glebowym, ilość i rodzaj minerałów ilastych, stężenie kationów konkurujących

o miejsce wiązania oraz zawartość wody w glebie (16). W procesie pobierania jonów potasu przez rośliny lub podczas jego wymywania dochodzi do przemieszczania jonów  $K^+$  z fazy stałej gleby do roztworu glebowego, aż do ustalenia się stanu równowagi pomiędzy fazami gleby. Kiedy stężenie potasu w roztworze glebowym wzrasta, np. w wyniku zastosowania nawozów potasowych, zachodzi proces odwrotny (1).

Desorpcja potasu w okresie wegetacji jest związana z pojawieniem się w roztworze glebowym kationów wodoru, które powstają w wyniku dysocjacji kwasu węglowego, kwasów organicznych oraz procesu nityfikacji, jak również jonów amonowych, powstających w efekcie mineralizacji organicznych związków azotu. Wapnowanie w okresie letnim, na skutek którego wzrasta stężenie kationów  $Ca^{2+}$  w roztworze glebowym, również powoduje uwalnianie jonów  $K^+$  z glebowego kompleksu sorpcyjnego.

Fiksacja potasu, czyli jego uwstecznianie, polega na niewymiennym wiązaniu potasu przez cząstki gleby. Intensywność tego procesu warunkowana jest obecnością specyficznych miejsc wiązania kationów  $K^+$  w strukturze minerału ilastego oraz jednoczesnym odwodnieniem jonu oraz minerału ilastego. Na skutek nagłej utraty wody z gleby dochodzi do trwałego zamknięcia odwodnionych kationów potasu między pakietami minerału ilastego. Intensywność procesu fiksacji zależy od warunków pogodowych oraz zasobności gleby, najbardziej nasiloną jest w okresie długotrwałych susz oraz na glebach wyjałowionych z potasu. W glebach nadmiernie wyczerpanych z potasu wymiennego, charakteryzujących się dużym potencjałem do fiksacji (np. gleby gliniaste), zachodzi proces uwsteczniania potasu z nawozów. Na tych glebach uwalnianie potasu z frakcji niewymiennej jest proporcjonalne do ilości potasu wymiennego (3). Doprowadzenie gleby do stanu znacznego wyczerpania z zasobów potasu wymiennego skutkuje jego uwstecznieniem, a w konsekwencji wiązaniem potasu wprowadzonego do gleby w nawozach. Część potasu wnoszonego w nawozach nie jest wówczas dostępna dla roślin w sezonie wegetacyjnym, w którym stosowano nawożenie. Dlatego na tak ubogich glebach, nawet przez 2-3 lata, nie obserwuje się działania stosowanego w nawozach potasu i zwiększenia plonu. Dopiero uzupełnienie potasu powyżej pewnej krytycznej zawartości sprawia, że nawóz potasowy działa plonotwórczo (4).

Straty potasu z gleb uprawnych zachodzą na skutek wymywania i erozji, kiedy nadmiar kationów  $K^+$  nie zostanie związany przez koloidy glebowe (wymienne lub niewymienne). Gleby lekkie, dominujące w Polsce, charakteryzują się małym kompleksem sorpcyjnym, co sprzyja wymywaniu potasu, zwłaszcza w okresie zimowym. Jak podaje Grzebiś (4), straty potasu w Polsce na skutek wymywania mogą wynosić 40-50 kg  $K \cdot ha^{-1}$ . W skali kraju, 42% gleb charakteryzuje się niską i bardzo niską zawartością potasu. W województwach łódzkim i mazowieckim udział gleb o niskiej i bardzo niskiej zawartości tego składnika stanowi ponad 60%. Najmniejszą ilością gleb o takiej zasobności charakteryzują się województwa warmińsko-mazurskie, dolnośląskie i opolskie (Rys. 1).



Rys 1. Udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zasobności w potas

Źródło: Jadczyzyn, opracowanie własne

### Interakcja azotu i potasu w nawożeniu roślin uprawnych

Azot i potas są podstawowymi makroskładnikami decydującymi o wielkości oraz jakości plonu, pełnią jednak odmienne funkcje fizjologiczne w roślinie. Azot, będący składnikiem białek budujących strukturę komórkową oraz enzymów, występuje w roślinie w formie mineralnej, w postaci jonów  $\text{NO}_3^-$  jedynie w niewielkiej ilości. Potas, który jest koenzymem i regulatorem uwodnienia komórek, obecny jest w soku komórkowym wyłącznie w formie jonowej. Niedostateczne zaopatrzenie w ten składnik powoduje obniżenie zawartości wody, ogranicza wzrost komórek, a tym samym całość rośliny (6). Udowodniono, że zrównoważone nawożenie azotem i potasem zwiększa efektywność każdego z tych makroskładników w uprawie wielu

gatunków roślin (9). Dynamika nagromadzania suchej masy, azotu oraz potasu są ze sobą ściśle powiązane. Potas jest kationem towarzyszącym w transporcie azotanów w ksylemie, przez co w znacznym stopniu wpływa na gospodarkę azotową rośliny (5, 7). Tempo nagromadzania potasu przez rośliny zależy natomiast w dużym stopniu od poziomu nawożenia azotem. Przy dużych dawkach azotu rośliny pobierają więcej zarówno azotu, jak i potasu.

W uprawie roślin polowych zasadnicze znaczenie ma właściwy rozwój liści, które odpowiadają za absorpcję energii słonecznej potrzebnej do nagromadzania suchej masy, co przekłada się na wielkość plonu. Właściwe zaopatrzenie w azot powoduje wytworzenie większej liczby komórek tworzących liście, o większej objętości. Ponieważ zasadniczą część komórek stanowi woda wakuolarna, lepsze zaopatrzenie w azot skutkuje zmagazynowaniem większej ilości wody w tkankach. Zwiększone uwodnienie tkanek pociąga za sobą konieczność utrzymania właściwego potencjału osmotycznego oraz turgoru, za który odpowiada przede wszystkim potas.

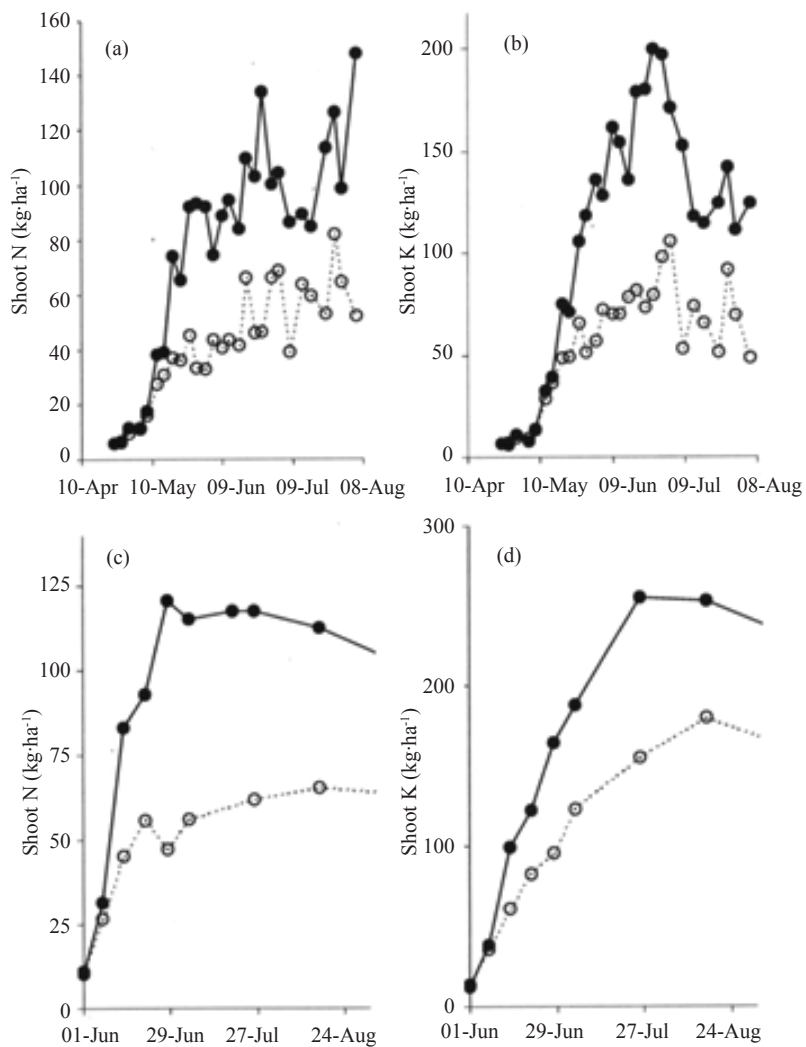
Badania przeprowadzone w Rothamsted (9) wykazały, że zwiększenie poziomu nawożenia jęczmienia z 48 kg N/ha do 144 kg N·ha<sup>-1</sup> powodowało nie tylko wzrost pobrania azotu, ale również potasu. Podobne zależności wystąpiły w przypadku buraka, pod który stosowano 0 i 120 kg N·ha<sup>-1</sup> (Rys. 2).

### Material i metody

Oceny wieloletniego wyczerpywania gleb ze składników pokarmowych dokonuje się w oparciu o doświadczenia wieloletnie. Badania nad skutkami wieloletniego wyczerpywania gleb z potasu, zależnie od poziomu nawożenia azotem prowadzono w latach 2003-2013 w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym IUNG-PIB w Grabowie (woj. mazowieckie). Dwuczynnikowe doświadczenie polowe założono na glebie wytworzonej na glinie lekkiej. Wyjściowa zawartość składników pokarmowych wyniosła: 16 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 12 mg K<sub>2</sub>O i 5,05 mg MgO·100g<sup>-1</sup> gleby. Czynnikiem doświadczenia były:

I – nawożenie potasem: w optymalnej dawce - obiekt K plus oraz bez stosowania potasu- obiekt K minus

II – nawożenie azotem na sześciu poziomach, zleżenie od gatunku uprawianej rośliny.



Rys. 2. Pobranie azotu i potasu przez jęczmień i burak zależnie od poziomu nawożenia, a) jęczmień - 48 kg N·ha<sup>-1</sup>, b) jęczmień - 144 kg N·ha<sup>-1</sup>, c) burak - 0 kg N·ha<sup>-1</sup>, d) burak - 120 kg N·ha<sup>-1</sup>

Źródło: Milford i Johnson, 2007 (9)



W zmianowaniu uprawiano następujące rośliny: rzepak ozimy, pszenica ozima, kukurydza na ziarno, jęczmień jary. Doświadczenie prowadzono czterema polami równocześnie. W obiekcie K plus stosowano następujące dawki  $K_2O$ : pod rzepak –  $130 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , pod pszenicę –  $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , pod kukurydzę –  $140 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  oraz pod jęczmień –  $70 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Zarówno w obiekcie K plus jak i K minus stosowano takie samo nawożenie pozostałymi składnikami pokarmowymi, zgodnie z zaleceniami nawozowymi IUNG-PIB. Dawki nawozów azotowych podano w tabeli 2.

Tabela 2

Dawki azotu stosowane w doświadczeniu (II czynnik)

Obiekt	Rzepak ozimy	Pszenica ozima	Kukurydza	Jęczmień jary
	kg N · ha <sup>-1</sup>			
N0	0	0	0	0
N1	50	40	50	30
N2	100	80	100	60
N3	150	120	150	90
N4	200	160	200	120
N5	250	200	250	150

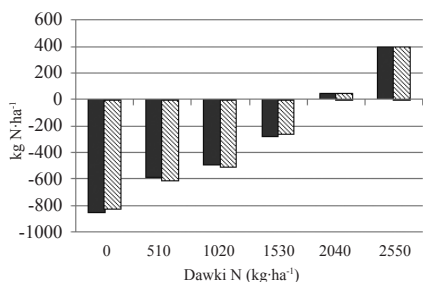
Źródło: opracowanie własne

Jako miarę środowiskowych skutków niezrównoważonego nawożenia azotem i potasem przyjęto bilanse tych składników pokarmowych w okresie 12-letnim oraz zmiany zawartości przyswajalnych form potasu w warstwie ornej gleby.

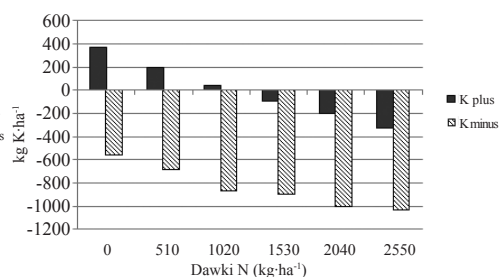
### Bilanse składników pokarmowych

Bilanse N i K sporządzono za okres 12 lat metodą „na powierzchni pola” uwzględniając po stronie przychodów ilości składników wnoszonych w nawozach, a po stronie rozchodów ilości wynoszone z plonami głównymi i ubocznymi. Całkowite dawki azotu, stosowane przez okres 12 lat pod poszczególne rośliny w zmianowaniu wyniosły odpowiednio: N0 – 0, N1 – 510, N2 – 1020, N3 – 1530, N4 – 2040, N5 – 2550  $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Całkowita dawka potasu w obiekcie K plus, zastosowana w tym okresie wyniosła 1095  $\text{kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$ , w obiekcie K minus – 0  $\text{kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

W warunkach optymalnego zaopatrzenia roślin w potas, ze względu na większe wartości pobrania N przez rośliny, najsilniej ujemny bilans azotu wystąpił w obiekcie kontrolnym, w którym nie stosowano nawozów azotowych. Dodatkowo saldo bilansu azotu  $+38 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  uzyskano przy poziomie nawożenia N5 i N6, niezależnie od tego czy stosowane było nawożenie potasem czy też nie (Rys. 3).



Rys. 3. Bilans azotu za 12 lat zależnie od poziomu nawożenia azotem i potasem



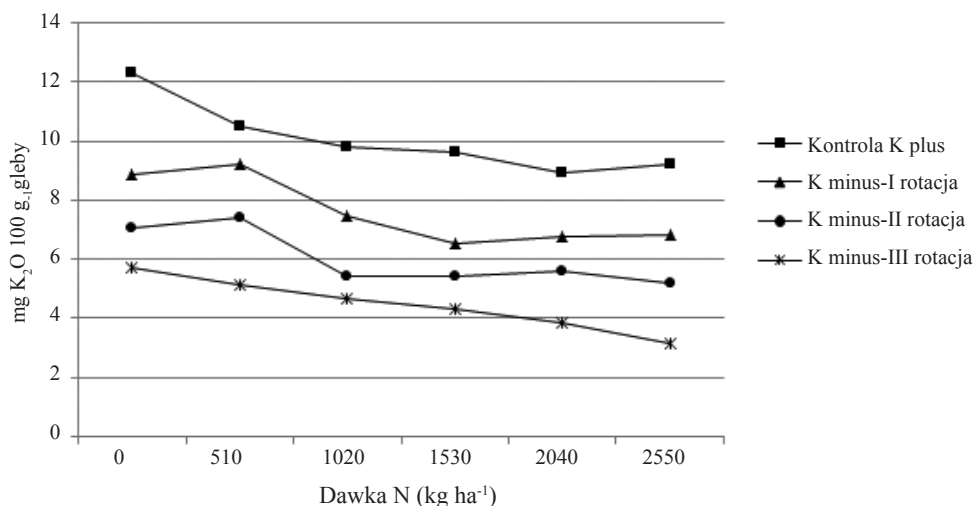
Rys. 4. Bilans potasu za 12 lat zależnie od poziomu nawożenia azotem i potasem

Źródło: opracowanie własne

W obiekcie, w którym stosowano nawożenie potasowe (K plus), zrównoważony bilans K uzyskano w zakresie dawek N0 - N3 (rys. 4). Przy całkowitej dawce 1020 kg·N ha<sup>-1</sup>, bilans potasu wyniósł +30 kg K·ha<sup>-1</sup>. W warunkach uprawy roślin bez stosowania nawozów zawierających potas, przy tym samym poziomie nawożenia azotem saldo bilansu wyniosło -865 kg K ha<sup>-1</sup>, co oznacza, że w skali jednego, pełnego zmianowania, wynoszono z plonami roślin 288 kg K ha<sup>-1</sup>. Dla porównania, w obiekcie N5, z największą dawką azotu, za okres trzech pełnych rotacji, saldo bilansu potasu sięgnęło -1032 kg K ha<sup>-1</sup> czyli po każdej rotacji wynoszono z plonami roślin średnio 344 kg K ha<sup>-1</sup> nie uzupełniając tej ilości składnikiem w nawozach.

### Zmiany zawartości potasu przyswajalnego w glebie

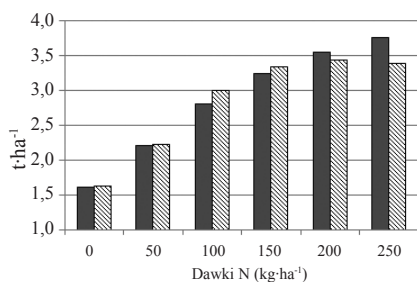
Zmiana zawartości potasu przyswajalnego w warstwie ornej gleby ściśle zależała od poziomu nawożenia azotem (rys. 5). W okresie 12 lat doświadczenia, na skutek znacznego wynoszenia tego składnika z plonami roślin (słoma corocznie jest zbierana z pola) zawartość potasu przyswajalnego w obiekcie bez nawożenia azotem spadła ze 12,5 mg K<sub>2</sub>O·100g<sup>-1</sup> gleby (klasa zawartości średniej) do 5,73 mg K<sub>2</sub>O·100g<sup>-1</sup> gleby (klasa zawartości niskiej). W obiekcie z największą, stosowaną w doświadczeniu dawką N, zawartość przyswajalnych form potasu spadła prawie czterokrotnie – do 3,14 mg K<sub>2</sub>O·100 g<sup>-1</sup> gleby, co kwalifikuje do klasy bardzo niskiej, nieakceptowalnej ze względów ekologicznych.



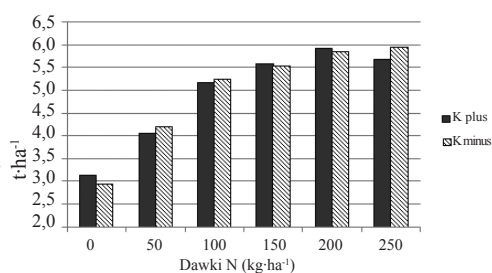
Rys. 5. Zmiana zawartości przyswajalnych form potasu w glebie zależnie od poziomu nawożenia azotem  
Źródło: opracowanie własne

### Plonowanie roślin

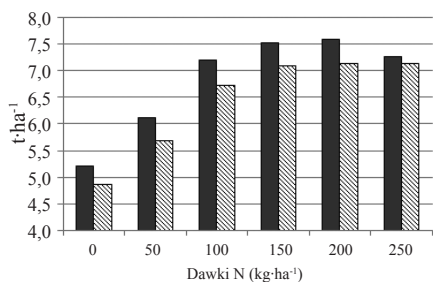
Nie udowodniono istotnego wpływu stopniowego wyczerpywania gleby z potasu na plonowanie roślin w kolejnych rotacjach. Wielkość plonów ziarna lub nasion uprawianych roślin zależała od przebiegu pogody w poszczególnych latach. Niemniej jednak, w obiekcie bez nawożenia potasem istotnie słabiej plonowały kukurydza i jęczmień. Na rysunkach 6-9 przedstawiono średnie za lata 2003-2014 plony uprawianych roślin.



Rys. 6. Plony nasion rzepaku ozimego

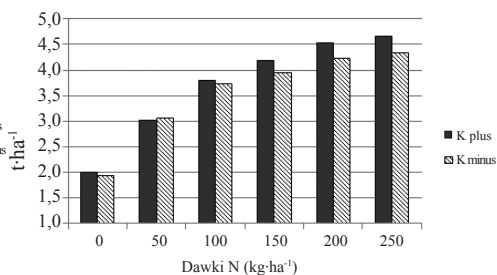


Rys. 7. Plony ziarna pszenicy ozimej



Rys.8. Plony ziarna kukurydzy

Źródło: opracowanie własne



Rys.9. Plony ziarna jęczmienia jarego

## Podsumowanie

System doradztwa nawozowego w Polsce zakłada optymalne zaopatrzenie roślin we wszystkie składniki pokarmowe, przy uregulowanym odczynie gleby. Przy znacznym zubożeniu gleby w potas, który pobierany jest w dużych ilościach przez rośliny uprawne, dalsze dążenie do utrzymania zrównoważonego bilansu azotu może prowadzić do zaburzenia funkcji fizjologicznych rośliny oraz redukcji plonu. Doprowadzenie gleby do stanu znacznego wyczerpania z zasobów potasu wymiennego skutkuje jego uwstecznieniem, a w konsekwencji wiązaniem potasu wprowadzonego do gleby w nawozach. Przez pierwsze 2-3 lata po zastosowaniu nawozów potasowych, składnik ten nie będzie wykazywał działania plonotwórczego. Należy zatem podkreślić, że w nawożeniu integrowanym, ważne jest nie tylko dostarczenie roślinom uprawianym na danym polu składników pokarmowych w ilości niezbędnej do wytworzenia oczekiwanego plonu o pożądanej jakości, ale również utrzymanie agronomicznie pożądanych i ekologicznie akceptowalnych rezerw składników pokarmowych.

## Literatura

1. Bar Tal A.: The effects of nitrogen form on interaction with potassium, 2011. Research Findings: e-icf No 29, December 2011.
2. Bertsch P. M., Thomas G. W.: Potassium status of temperate region soils: In R.D. Munson (ed.), Potassium in agriculture. American Society of Agronomy, Madison, WI. 1985: 131-162.
3. Fotyła M.: Potas w agrosystemach, Nawozy i Nawożenie, Fertilizers and Fertilization, 2011, **45**: 5-79.
4. Grzebiś W.: Nawożenie roślin uprawnych.2. Nawozy i systemy nawożenia. PWRiL, Poznań, 2008.
5. Jiang F., Li C.J., Jeschke W.D., Zhang F.S.: Effect of top excision and replacement by 1-naphthylacetic acid on partition and flow of potassium in tobacco plants. J. Exp. Bot., 2001, **52**: 2143-2150.
6. Kopcewicz J., Lewak S. (Red.): Fizjologia roślin, PWN, Warszawa. 2012: 239-241.
7. Lu Y.X., Li C.J., Zhang F.S.: Transpiration, potassium uptake and flow in tobacco as affected by nitrogen forms and nutrient levels. Ann. Bot., 2005: **95**: 991-998.
8. Mengel K., Kirkby E.A.: Principles of plant nutrition., 3<sup>rd</sup> edition., International Potash Institutur, Bern, 1982.

- 
9. Milford G.F.J., Johnson A. E.: Potassium and nitrogen interactions in crop production. Proceedings 615, International Fertilizers Society, York, 2007: 4-14.
  10. Ranjbar F., Jalali M.: Calcium, Magnesium, Sodium, and Potassium Release during Decomposition of Some Organic Residues, Commun. Soil. Sci. Plan., 2012, **43**, Issue 4: 645-659.
  11. Rodriguez - Navarro A., Rubio F.: High affinity potassium and sodium transport systems in plants, J. Exp. Bot., 2006, **57**, No. 5: 1149-1160.
  12. Rocznik Statystyczny Rolnictwa, GUS, Warszawa 2016, 137-138.
  13. Römheld V., Kirkby E. A.: Research on potassium in agriculture: needs and prospects, Plant and Soil, 2010, **335**: 155-180.
  14. Sparks D. L.: Potassium dynamics in soils. Adv. Soil Sci., 1985, **6**: 1-63.
  15. Sparks D. L.: Bioavailability of soil potassium, D- 38-D-52. In M.E. Sumner (ed.) Handbook of Soil Science, CRS, Press, Boca Raton, FL. 2000.
  16. Sparks D. L., Huang P. M.: Physical chemistry of soil potassium: 201-276. In R.D. Munson (ed.). Potassium in agriculture. American Society of Agronomy Madison WI. 1985.
- 

Adres do korespondencji:

*dr Agnieszka Rutkowska*  
*Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy*  
*tel. 81 4786 840*  
*e-mail: agrut@iung.pulawy.pl*

