

**UPROSZCZONY BILANS POTASU
NA ŁĄCIE TRWAŁEJ DESZCZOWANEJ
W WARUNKACH
OGRANICZENIA NAWOŻENIA TYM SKŁADNIKIEM
NA TLE JEGO ZAWARTOŚCI I POBRANIA
PRZEZ ROŚLINY ORAZ WYMYCIA Z GLEBY**

Barbara SAPEK¹⁾, Jerzy BARSZCZEWSKI²⁾, Marek URBANIAK¹⁾

¹⁾ Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Chemii Gleby i Wody

²⁾ Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Łąk i Pastwisk

Słowa kluczowe: bilans potasu, łąka trwała deszczowana, nawożenie potasem, wymycie

Streszczenie

Badano zachowanie się potasu w układzie gleba-łąkowa-woda-roślina na długoletnim, deszczowanym doświadczeniu łąkowym, w warunkach ograniczonego nawożenia tym składnikiem. Oceniono wpływ zmniejszenia dawki potasu na zawartość i pobranie tego składnika z plonem roślin i jego bilans oraz na jego stężenie w roztworze glebowym i wymywanie poza strefę korzeniową roślin. Zmniejszenie dawki potasu o 40% w ciągu dwóch lat w warunkach glebowych i wilgotnościowych podobnych do doświadczenia oraz nawożenia 240–360 kg N·ha⁻¹ i 100–250 kg K·ha⁻¹ w postaci mineralnej, a także 360 kg N·ha⁻¹ i 300 kg K·ha⁻¹ w postaci gnojówki uzupełnionej nawozem mineralnym nie stwarza ryzyka przekroczenia przedziału optymalnej zawartości potasu w roślinności łąkowej oraz istotnych strat w plonie. Wymywaniu potasu z gleby sprzyjało zwiększenie dawki tego składnika oraz azotu w nawożeniu.

Adres do korespondencji: prof. dr hab. B. Sapek, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Zakład Chemii Gleby i Wody, al. Hrabstwa 3, Falenty, 05-090 Raszyn; tel. +48 (22) 720-05-31, w. 220, e-mail: b.sapek@imuz.edu.pl

WSTĘP I CEL BADAŃ

Konieczność ograniczenia zużywania nieodnawialnych zasobów naturalnych – surowców energetycznych i kopalin stosowanych w nawożeniu jest jednym z podstawowych warunków realizacji zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich. Badania dynamiki i losów potasu oraz jego bilansu na użytku zielonym są niezbędne do oceny możliwości ograniczenia nawożenia tym składnikiem, bez uszczerbku w plonie oraz jakości produkowanej paszy łąkowej [BARSZCZEWSKI, 1997; BARSZCZEWSKI, BURZYŃSKA, KALIŃSKA, 2001; SAPEK, 2000].

Celem badań była ocena zachowania się potasu w układzie gleba łąkowa–woda–roślina oraz jego bilans w warunkach ograniczonego nawożenia tym składnikiem.

OBIEKTY DOŚWIADCZALNE I METODY BADAŃ

Badano wpływ zmniejszenia dawki potasu na zawartość i pobranie tego składnika z plonem roślin łąkowych oraz jego stężenie w roztworze glebowym i wymywanie poza strefę korzeniową, w warunkach długoletniego deszczowanego doświadczenia łąkowego w Falentach. Badania realizowano w latach w 2000–2003 – w latach 2000–2001 (seria 1) stosowano nawożenie potasem na poziomie, przyjętym w długoletnim doświadczeniu, a w latach 2002–2003 (seria 2) ograniczono nawożenie tym składnikiem. Wykonano uproszczone bilanse potasu dla obu wymienionych okresów. Badania wykonano na wszystkich 6 obiektach nawozowych doświadczenia, tj.: N-120, N-240, N-240P-0, NG-240, N-360 i NG-360, gdzie N oznacza nawożenie azotem w formie mineralnej (saletra amonowa), a NG – nawożenie mineralno-organiczne z dodatkiem przefermentowanej gnojówki.

W latach 2000–2003 roczne opady w sezonie wegetacyjnym (IV–IX) zawierały się w przedziale od 288 mm w 2000 r. do 396 mm w 2001 r. Na doświadczeniu niedostatek wody był uzupełniany nawodnieniem deszczownianym (tab. 1) [SAPEK B., 2006]. Dawki potasu na kolejnych 6 obiektach nawozowych wynosiły odpowiednio: 100, 150, 150, 150, 250 i 300 kg K·ha⁻¹ w latach 2000–2001, a w latach 2002–2003 były o 40% mniejsze. Dawki składników nawozowych w nawożeniu mineralno-organicznym ustalano wg zawartości potasu w gnojówce. Dawki fosforu na wymienionych obiektach nawozowych wynosiły odpowiednio: 35, 52,4, 0 (obiekt N-240P-0 od 1997 r. bez nawożenia fosforem), 70, 52,4 i 70 kg P·ha⁻¹ [SAPEK B., 2006].

Stężenie potasu w roztworach glebowych pozyskiwanych za pomocą aparatów ssących z kubkami ceramicznymi oraz jego wymycie badano w latach 2000–2001. Aparaty zainstalowano na 20 poletkach doświadczenia. Próbkę roztworów glebowych do analiz pobierano co miesiąc, z wyjątkiem okresu zimowego, jednak często nie zdołano pozyskać roztworu z powodu niekorzystnych warunków wilgotno-

Tabela 1. Opady, średnie temperatury w sezonie wegetacyjnym (IV–IX) i dawki nawodnień w latach 1996–2003**Table 1.** Precipitations, mean temperature during vegetation season (IV–IX) and irrigation rates in 1996–2003

Lata Years	Temperatura średnia w okresie wegetacyjnym Mean temperature in vegetation period °C	Opad Precipitation		Dawki nawodnienia Irrigation rates	Suma opadu i nawodnienia Sum of precipitation and irrigation
		roczny annual	w okresie wegetacyjnym in vegetation period		
			mm		
2000	15,5	541	288	125	666
2001	15,3	578	396	100	678
2002	16,6	535	293	159	694
2003	15,7	549	342	100	649

ściowych w glebie. Sposób umieszczenia aparatów ssących w glebie i pozyskiwania roztworów glebowych oraz obliczania wymycia potasu poza strefę korzeniową roślin zawiera praca PIETRZAKA, URBANIAKA i SAPEK B. [2006].

Zawartość potasu w próbkach roślinności oznaczono po ich mineralizacji w mieszaninie stężonych kwasów: HNO_3 , HClO_4 i H_2SO_4 . Oznaczenie potasu w roślinności, a także jego stężenia w roztworach glebowych wykonano metodą spektroskopii emisyjnej.

WYNIKI BADAŃ

ZAWARTOŚĆ POTASU W ROŚLINNOŚCI ŁĄKOWEJ I JEGO POBRANIE Z PLONEM

Zawartość potasu w roślinności w latach badań wynosiła 1,6–2,7% w suchej masie, co w większości próbek odpowiada optymalnemu, ze względu na żywienie zwierząt, przedziałowi zawartości tego składnika w paszy łąkowej (1,7–2,5% s.m.) [DOBOSZYŃSKI, 1988]. Istotne różnice w zawartości potasu w obydwóch porównywanych okresach – 2000–2001 i 2002–2003 – stwierdzono jedynie między roślinnością z obiektu nawożonego azotem w ilości $360 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ i potasem w dawce $300 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$ w formie organiczno-mineralnej (NG-360) a roślinnością z pozostałych obiektów. Jedynie w roślinności z IV odrostu, znacząco bogatszej w potas w porównaniu z pozostałymi, i to w latach, w których zmniejszono dawkę tego składnika (2002–2003), istotnie większą jego zawartość stwierdzono w roślinności nawożonej większą dawką potasu i stosowano nawożenie mineralno-organiczne (tab. 2). Ocena wpływu zmniejszonej dawki potasu na jego zawartość w roślinności, średnio dla wszystkich obiektów nawozowych doświadczenia (serie 1 i 2), wykazała wprawdzie istotne zmniejszenie jego zawartości, jednak w zakresie war-

Tabela 2. Średnie z lat zawartości potasu w roślinności łąkowej dla poszczególnych obiektów nawozowych**Table 2.** Mean annual contents of potassium in meadow vegetation for particular treatments

Obiekt nawozowy Treatments	Dawka potasu Potassium dose kg K·ha ⁻¹	Lata Years	Zawartość K (% s.m.) w pokosach K content (% of DM) in cuts					średnia mean
			I	II	III	IV		
N-120	100	2000–2001	1,56a	1,58a	1,83a	2,02a	1,74	
		2002–2003 ¹⁾	1,53A	1,69A	1,53A	1,59A	1,58	
N-240	150	2000–2001	1,60a	1,53a	1,64a	2,13a	1,72	
		2002–2003 ¹⁾	1,50A	1,76A	1,48A	1,66BA	1,60	
N-360	250	2000–2001	1,72a	1,95a	1,83a	2,38a	1,97	
		2002–2003 ¹⁾	1,83A	2,14B	1,74A	2,17C	1,97	
N-240P-0	150	2000–2001	1,56a	1,46a	1,64a	2,20a	1,71	
		2002–2003 ¹⁾	1,61A	1,78A	1,55A	1,66BA	1,65	
NG-240	150	2000–2001	1,65a	1,71a	1,87a	2,41a	1,91	
		2002–2003 ¹⁾	1,72A	1,83A	1,67A	2,05BC	1,82	
NG-360	300	2000–2001	2,13b	2,63b	2,66b	3,41b	2,70	
		2002–2003 ¹⁾	2,60B	2,79C	2,40B	2,72D	2,63	

¹⁾ Dawka potasu zmniejszona o 40% w stosunku do poprzedniego okresu.

Istotność różnic: nawożenie* (dla średnich z lat 2000–2001, a, b; dla średnich z lat 2002–2003, A, B, C, D), N – dawka nawozu azotowego w formie mineralnej; P-0 – kombinacja bez nawożenia fosforem, NG – dawka nawozu azotowego w postaci mineralno-organicznej.

¹⁾ Potassium dose decreased by 40% in comparison with previous period.

The significance of differences: fertilisation* (for the mean in 2000–2001, a, b; for the mean in 2002–2003, A, B, C, D), N – fertilisation dose in mineral form, P-0 – treatment without phosphorus fertilisation, NG – nitrogen fertilisation in mineral-organic form.

tości nie pogarszających jakości paszy łąkowej. W porównywanych dwuletnich okresach badań wystąpiły różnice między zawartością potasu w roślinności z kolejnych odrostów, zwłaszcza w 2003 r. (tab. 3).

Oprócz badania zmian zawartości potasu w roślinności łąkowej, oceniono wpływ zmniejszenia dawki nawozu potasowego na wielkość plonu. Porównując średnie wyniki z wszystkich obiektów nawozowych w dwuletnich seriach badań, stwierdzono istotnie mniejszy plon suchej masy roślinności w warunkach zmniejszenia dawki nawożenia potasem. Jednak, jak wykazano, na wynik ten wpływało głównie istotne zmniejszenie plonu na dwóch obiektach nawożonych 240 kg N·ha⁻¹ – N-240P-0 i NG-240 (tab. 4). Można by sądzić, że w tych warunkach istotnie mniejszy plon wynikał z braku zrównoważenia składników nawozowych, zwłaszcza fosforu, a także innych składników wnoszonych do gleby w mniejszych ilościach ze zmniejszoną dawką nawozu organicznego – gnojówki.

Tabela 3. Średnia zawartość potasu w roślinności łąkowej z czterech pokosów w poszczególnych latach doświadczenia**Table 3.** Mean potassium content in meadow vegetation from four cuts in particular years of experiment

Lata Years	Seria Series	Zawartość K (% sm.) w pokosach				średnia dla serii mean for the series
		I	II	III	IV	
2000	1	1,61	1,72	1,88	2,19	1,96
2001		1,80	1,90	1,94	2,66*	
2002 ¹⁾	2	1,97	1,89	1,85	1,94	1,87*
2003 ¹⁾		1,63**	2,11	1,61*	2,00	

¹⁾ Dawka potasu zmniejszona o 40% w stosunku do poprzedniego okresu.

* Różnice istotne na poziomie $\alpha = 0,05$. ** Różnice istotne na poziomie $\alpha = 0,01$.

Istotność różnic: 2000–2001, lata dla IV pokosu*, 2002–2003, lata dla I** i III pokosu*; seria 1 i 2*.

¹⁾ Potassium dose decreased by 40 % in comparison with previous period.

* Significant differences at $\alpha = 0.05$. ** Significant differences at $\alpha = 0.01$.

The significance of differences: 2000–2001, years for the IV cut*, 2002–2003, years for I** and III cut*; series 1 and 2*.

Tabela 4. Średnie z lat plony suchej masy roślinności łąkowej z czterech pokosów z doświadczenia w latach 2000–2001 i 2002–2003¹⁾**Table 4.** Mean annual dry mater yields of meadow vegetation from four cuts in 2000–2001 and 2002–2003¹⁾

Obiekt nawozowy Treatments	Dawka potasu, kg K·ha ⁻¹ Potassium dose, kg K·ha ⁻¹	Lata Years	Średni plon roczny, t·ha ⁻¹ Mean annual yield, t·ha ⁻¹
N-120	100	2000–2001	7,13 a
		2002–2003 ¹⁾	6,23 A
N-240	150	2000–2001	9,71 b
		2002–2003 ¹⁾	8,80 B
N-360	250	2000–2001	10,77 b
		2002–2003 ¹⁾	10,37 C
N-240P-0	150	2000–2001	9,45 b
		2002–2003 ¹⁾	7,92* B
NG-240	150	2000–2001	9,44 b
		2002–2003 ¹⁾	7,89* B
NG-360	300	2000–2001	11,61 c
		2002–2003 ¹⁾	10,34 C
Średnio obiekty nawozowe		2000–2001	9,69
Mean for treatments		2002–2003 ¹⁾	8,60*

¹⁾ Dawka potasu zmniejszona o 40% w stosunku do poprzedniego okresu.

Istotność: serie* – lata 2000–2001 (seria 1) i 2002–2003 (seria 2); nawożenie** – istotność różnic między obiektami nawozowymi w serii 1 – a, b, c, w serii 2 – A, B, C.

¹⁾ Potassium dose decreased by 40 % in comparison with previous period.

The significance: Series* – years 2000–2001 (series 1) and 2002–2003 (series 2); fertilisation** – significant differences between treatments in series 1 – a, b, c, in series 2, A, B, C.

Średnie roczne pobranie potasu z plonem suchej masy roślinności wynosiło od ok. 100 kg K·ha⁻¹ na obiekcie nawożonym 120 kg N·ha⁻¹ i od 60 kg K·ha⁻¹ (N-120) do ok. 300 kg K·ha⁻¹ na nawożonym 360 kg N·ha⁻¹ i 300 kg K·ha⁻¹ (N-360). Roczne pobranie potasu z plonem różnicowała dawka azotu i potasu z nawozu oraz jego forma. Istotnie więcej potasu pobrały rośliny nawożone największymi dawkami azotu i potasu, zwłaszcza formą mineralno-organiczną (tab. 5). Ocena różnic średniego pobrania potasu ze wszystkich obiektów doświadczenia w latach 2000–2001 i 2002–2003 wykazała istotny wpływ zmniejszenia dawki potasu na to pobranie. Największa różnica w pobraniu potasu wystąpiła w pierwszym odroście w 2003 r. (drugim roku ze zmniejszoną dawką nawozu potasowego) – tabela 6.

Tabela 6. Średnie pobranie potasu z plonem suchej masy roślinności łąkowej z czterech pokosów w poszczególnych latach doświadczenia

Table 6. Mean potassium uptake with dry matter yield of meadow vegetation from four cuts in particular years of experiment

Lata Years	Seria Series	Pobranie w pokosach K (kg·ha ⁻¹)				średnia suma roczna dla serii mean annual sum for series
		pokosy cuts				
		I	II	III	IV	
2000	1	41,3	32,3	65,1	36,2	187,9
2001		55,3*	50,2*	54,8	40,5	
2002 ¹⁾	2	50,2	51,8	56,8	21,1	164,6*
2003 ¹⁾		27,6*	54,4	42,0*	25,3*	

¹⁾ Dawka potasu zmniejszona o 40% w stosunku do poprzedniego okresu.

Istotność różnic: 2000–2001, lata* dla I i II pokosu; 2002–2003, lata* – dla I, III i IV pokosu; serie 1 i 2*.

* Istotność różnic, gdy $\alpha = 0,05$.

¹⁾ Potassium dose decreased by 40% in comparison with previous period.

The significance of differences: 2000–2001, years* for the I and II cut; 2002–2003, years* – for the I, III and IV cut; series 1 and 2*.

* $\alpha = 0,05$.

UPROSZCZONY BILANS POTASU NA DOŚWIADCZENIU

Wykonano uproszczony bilans potasu z uwzględnieniem obiektów nawozowych w kolejnych, dwuletnich okresach, tj. 2000–2001 i 2002–2003, różniących się stosowaną dawką tego składnika. Na podstawie różnicy bilansowej obliczono procentowe wykorzystanie potasu w odniesieniu do ilości wprowadzonej z nawozem oraz pobranie tego składnika z jego zapasu w glebie (tab. 7). Przed zmniejszeniem dawki potasu warunki najbliższe jego zbilansowaniu wystąpiły na obiekcie nienawożonym fosforem od 1997 r., a nawożonym mineralną formą azotu (uzupeł-

nienie potasu z zapasu w glebie tylko w 5,7%). Bez względu na nawożenie fosforem, zmniejszenie dawki potasu o 40% pogłębiło ujemny wynik bilansu potasu, spowodowało jego dodatkowe, ok. 50-procentowe, pobranie z zapasu w glebie, lecz na obiekcie N-240P-0 również w mniejszym stopniu (tab. 7).

W warunkach nawożenia azotem w ilości 360 kg N·ha⁻¹ i potasem 250–300 kg K·ha⁻¹ rocznie, zwłaszcza w formie mineralnej, lecz również mineralno-organicznej, w latach 2000–2001 wykazano dodatnie różnice bilansowe (tab. 7). W tym ostatnim przypadku ilość pobrana z plonem i wniesiona z nawozem były zbilansowane. Zmniejszenie o 40% dawki potasu, z wyjątkiem obiektu nawożonego 300 kg K·ha⁻¹ (NG-360), spowodowało ujemny wynik jego bilansu. Największy niedobór tego składnika wystąpił na obiekcie nawożonym rocznie 120 kg N·ha⁻¹ i 60 kg K·ha⁻¹ (N-120), natomiast na obiekcie nawożonym formą mineralną w ilości 150 kg K·ha⁻¹ (obiekt N-360) uzupełnienie dawki z zapasu gleby było najmniejsze, równe 34,7%. Można przypuszczać, że w tych warunkach stosowanie rocznie 200 kg K·ha⁻¹ bilansowałyby pobranie tego składnika z plonem (tab. 7). Rozpatrując dwie dwuletnie serie badań na całym doświadczeniu, bez uwzględnienia poszczególnych obiektów nawozowych, stwierdzono że zmniejszenie dawki potasu o 40% spowodowało pobranie tego składnika w 60% z zapasu w glebie (tab. 8).

Tabela 8. Uproszczony bilans potasu w skali pola na doświadczeniu (średni dla całego doświadczenia)

Table 8. Simplified potassium balance in the field scale in grassland experiment (mean for the whole experiment)

Składowe bilansu Balance elements	Lata Years	
	2000–2001	2002–2003 ¹⁾
Ilość potasu wniesiona z nawozem (S1), kg K·ha ⁻¹ Input of potassium with fertiliser (S1), kg K·ha ⁻¹	367	205
Ilość potasu pobranego z plonem (S2), kg K·ha ⁻¹ Potassium taken up with the yield (S2), kg K·ha ⁻¹	376	329
Różnica (S1 – S2), kg K·ha ⁻¹ Difference (S1 – S2), kg K·ha ⁻¹	–9	–124
Wykorzystanie potasu, % Potassium utilisation, %	102	160,5
Pobranie z zapasu w glebie, % Uptake from the soil reserve, %	2	60,5

¹⁾ Dawka potasu zmniejszona o 40% w stosunku do poprzedniego okresu.

¹⁾ Potassium dose decreased by 40 % in comparison with previous period.

STĘŻENIE POTASU W ROZTWORACH GLEBOWYCH I JEGO WYMYWANIE Z GLEBY

Średnie stężenie potasu w roztworze glebowym w latach 2000–2001 mieściło się w przedziale 0,44–3,88 mg K·dm⁻³, przy czym największe stężenie nie wystąpiło na obiekcie nawożonym największymi dawkami potasu i azotu. Najczęściej oznaczane stężenia to 1,0–1,3 mg K·dm⁻³. Po zmniejszeniu dawki potasu o 40% w latach 2002–2003 mniejsze stężenie tego składnika stwierdzono w roztworach glebowych z czterech obiektów nawozowych, a znacznie mniejsze tylko w jednym przypadku, na obiekcie N-240 (tab. 9).

W pierwszym okresie badań wymywane było od 0,32 kg K·ha⁻¹ (obiekt z najmniejszą dawką potasu – N-120) do 0,92 kg K·ha⁻¹ (obiekt z największą dawką zarówno potasu, jak i azotu – NG-360) (tab. 10). Po zmniejszeniu dawki potasu jego wymycie zmniejszyło się tylko na dwóch obiektach nawozowych – N-240 i N-240P-0, nawożonej tą samą ilością potasu. Na podstawie ilości wymytego potasu w kolejnych latach badań (2000–2003) można stwierdzić, poza jednym obiektem N-240P-0, wpływ zmniejszenia dawki potasu o 40% na jego wymywanie w 2003 r. (tab. 10, rys. 1).

Tabela 10. Średnie roczne wymycie potasu spod doświadczenia w latach 2000–2003

Table 10. Mean annual leaching of potassium from the experiment in 2000–2003

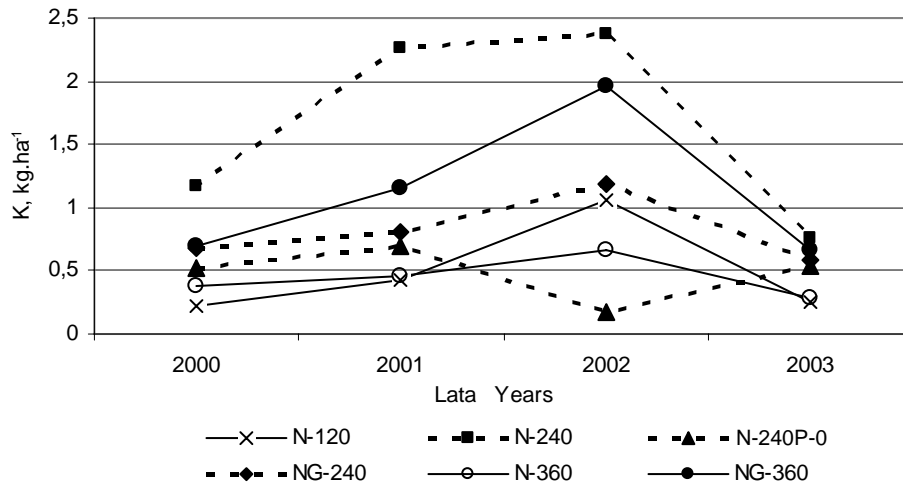
Obiekt nawozowy Treatments	Dawka potasu Potassium dose kg K·ha ⁻¹	Wymycie K (kg·ha ⁻¹) w latach				K leaching (kg·ha ⁻¹) in years	
		2000	2001	2002	2003	średnio mean	
						2000– –2001	2002– –2003 ¹⁾
N-120	120	0,22	0,43	1,06	0,25	0,32	0,65
N-240	180	1,17,	2,26	2,38	0,76	1,71	1,57
N-240P-0	180	0,52	0,70	0,17	0,54	0,61	0,36
NG-240	180	0,68	0,81	1,18	0,59	0,74	0,88
N-360	240/360	0,38	0,46	0,65	0,29	0,42	0,47
NG-360	360	0,70	1,15	1,96	0,66	0,92	1,31

¹⁾ Dawka potasu zmniejszona o 40% w stosunku do poprzedniego okresu.

Objaśnienia: obiekty nawozowe – jak pod tabelą 2.

¹⁾ Potassium dose decreased by 40 % in comparison with previous period.

Explanations: fertilisation treatments – as in Tab. 2.



Rys. 1. Zmiany wymycia potasu ($\text{kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$) z gleby obiektów nawozowych długoletniego doświadczenia łąkowego w Falentach w latach 2000–2003 (w latach 2002–2003 dawka potasu zmniejszona o 40%); w badaniach stosowano aparaty ssące z kubkami ceramicznymi; obiekty nawozowe, jak pod tabelą 2.

Fig. 1. Changes of potassium leaching ($\text{kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$) from the soil of fertilisation objects of a long-term grassland experiment in Falenty during 2000–2003 (the years 2002–2003 with potassium dose lower by 40%); porous ceramic suction cups were used in the study; fertilisation treatments as in Tab. 2

DYSKUSJA I WNIOSKI

Wykazane w badaniach istotne zmniejszenie zawartości potasu w roślinności łąkowej w warunkach zmniejszenia dawki nawozu potasowego o 40% nie spowodowało przekroczenia dolnej granicy optymalnego, ze względu na żywienie przeżuwaczy, przedziału zawartości potasu [DOBOSZYŃSKI, 1988]. Wskazuje to na możliwość ograniczenia nawożenia tym składnikiem, a zatem ograniczenia zużycia nawozu. Wyniki badań wykazały, że bilans potasu zależy zarówno od dawki potasu, jak i azotu, a także fosforu. W latach 2000–2001, przed ograniczeniem nawożenia potasem ($300 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$ w postaci mineralno-organicznej oraz azotu $360 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) ilość tego składnika była zbilansowana. W takich warunkach, lecz gdy stosowano mineralną formę nawozu, wynik bilansu tego składnika był dodatni i pozostawał jego zapas w glebie. Na niektórych obiektach nawozowych zmniejszenie dawki potasu odbyło się kosztem znacznego pobrania tego składnika z jego zapasu w glebie. Nadmierne zubożenie gleby w potas może prowadzić do jej degradacji w wyniku niszczenia struktury minerałów ilastych gleb, w których składzie dominuje potas. Jak wykazał BAILEY [1989], nadmierne pobieranie tego składnika może wynikać z niewłaściwej relacji jego jonów do wapnia, czemu można przeciwdziałać, stosując węglan wapnia. Ten brak zrównowazenia potasu i wap-

nia może być wyjaśnieniem znacznego pobierania potasu z zapasu w glebie doświadczenia, gdzie pH gleby nawożonej formą mineralną aktualnie wynosi od 5,3 na obiekcie nawożonym azotem w ilości $120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ do 3,5 na nawożonym dawką $360 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Na glebie o podobnych cechach, jak na doświadczeniu, zmniejszenie dawki potasu o 40% jest najbardziej uzasadnione w warunkach nawożenia tym składnikiem w ilości $250 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$ i azotem w ilości $360 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Po takim zmniejszeniu dawki potasu tylko 34% jego ilości pobranej plonem zostało uzupełnione z zapasu w glebie. W pozostałych przypadkach, tj. gdy stosowano 150 i $300 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$ oraz 240 i $360 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, ok. 50% potasu pobranego z plonem roślin było pokrywane z rezerw glebowych. Gdy stosowano $100 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$ i $120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, ok. 67% potasu pobranego z plonem pochodziło z tych rezerw. Ponieważ zawartość potasu w roślinności z obiektu nawożonego formą mineralno-organiczną w ilości $300 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$ i $360 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ przekraczała optymalną zawartość tego składnika w paszy łąkowej (2,70–2,60% K w s.m.), należałoby zmniejszyć jego dawkę. Jednak, jak wykazał uproszczony bilans, jest to związane z wyczerpywaniem zapasów tego składnika z gleby, czego skutkiem mogłaby być jego mniejsza dostępność dla roślin. Na konieczność utrzymania równowagi między ilością zapasowej (niewymiennej) formy potasu w glebie i dostępnej dla roślin w celu zachowania jego optymalnego statusu w agrofitycenozach zwraca uwagę HAMKALO [2000]. Należy jednak zaznaczyć, że nawożenie mniejszą dawką potasu w niniejszych badaniach trwało dopiero dwa lata i mimo nawadniania doświadczenia reakcja roślinności zależała również od warunków pogodowych. W okresie wegetacyjnym (IV–IX) 2002 r. wystąpiły szczególnie małe opady – 293 mm i wysoka temperatura – średnio $16,6^\circ\text{C}$ (tab. 1).

Oceniając wpływ zmniejszenia dawki potasu o 40% na plon suchej masy na podstawie jego średniej wartości dla całego doświadczenia, stwierdzono istotne jego zmniejszenie z ok. 9,7 do $8,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Jednakże rozpatrując ten wpływ na poszczególnych obiektach nawozowych, stwierdzono że wynika on głównie z istotnych obniżek plonów tylko na obiektach N-240P-0 i NG-240. W związku z tym można wnioskować, że w warunkach braku nawożenia fosforem, a jednocześnie stosowania nawożenia mineralno-organicznego w ilości $240 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, dawka potasu $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ jest optymalna, a jej zmniejszenie odbywa się już kosztem wielkości plonu. Zmniejszenie plonu po stosowaniu mniejszej dawki potasu w postaci gnojówki może być również skutkiem powstałego niedoboru innych składników mineralnych w niej zawartych, takich jak magnez, wapń czy mikroelementy.

Można przyjąć, że stężenie jonu w roztworze glebowym odzwierciedla stan równowagi między pobieraniem jonu przez rośliny i jego dostępną ilością w glebie. Stężenie składnika w roztworze glebowym pobieranym z głębokości 75 cm może wskazywać na ryzyko jego przemieszczenia się do głębszych warstw gleby i dalej do wód gruntowych. Duże wartości odchyłeń standardowych *SD* świadczą o znacznym zróżnicowaniu stężeń w obrębie tego samego punktu badawczego, co

uzasadnia potrzebę dużej liczby powtórzeń. Stosowana metoda pozwala na śledzenie zjawiska dynamiki i wymywania potasu na użytkach zielonych, w różnych warunkach nawożenia i wilgotności gleby. Należy jednak podkreślić, że wynik tego rodzaju badań, w których roztwory pozyskuje się za pomocą aparatów ssących z kubkami porowatymi, jest szczególnie uzależniony od warunków atmosferycznych, zwłaszcza opadu. Na doświadczeniu deszczowanym, na którym badano reakcje roślinności i bilans potasu na tle ograniczenia dawki nawozu potasowego, stężenie potasu w roztworach pozyskiwanych za pomocą aparatów z kubkami ceramicznymi wynosiło ok. 1,0–1,3 mg K·dm⁻³. Nie we wszystkich przypadkach stwierdzano mniejsze stężenia potasu po ograniczeniu nawożenia tym składnikiem. Obliczona średnia ilość wymytego potasu – w zakresie 0,32–0,92 kg K·ha⁻¹, odpowiadała najmniejszej i największej jego dawce. Po zmniejszeniu dawki tego składnika jego średnie wymycie tylko w dwóch przypadkach było mniejsze, przy czym wpływ zmniejszenia był najsilniejszy na obiekcie bez nawożenia fosforem (w latach 2000–2001 – 0,61 kg K·ha⁻¹, w latach 2002–2003 – 0,36 kg K·ha⁻¹). Wpływ ograniczenia nawożenia potasem na jego wymywanie z gleby wystąpił głównie w drugim roku – 2003 (rys. 1).

Po rozważeniu wyników badań można wyciągnąć następujące wnioski.

1. Zmniejszenie dawki potasu o 40% w ciągu dwóch lat w warunkach podobnych do doświadczenia i stosowania nawożenia azotem w ilości 240–360 kg N·ha⁻¹ i potasem 150–250 kg K·ha⁻¹ w postaci mineralnej, a także 360 kg N·ha⁻¹ i 300 kg K·ha⁻¹ w postaci gnojówki uzupełnionej nawozem mineralnym nie stwarza jeszcze ryzyka przekroczenia przedziału optymalnej zawartości potasu w roślinności łąkowej oraz istotnych strat w plonie.

2. Potas jest szczególnie czuły na brak zrównowżenia w nawożeniu na użytkach zielonych, co objawia się znacznym ujemnym wynikiem jego bilansu i nadmiernym pobieraniem z zapasu w glebie, a także przekroczeniem optymalnej dla żywienia zwierząt zawartości tego składnika w paszy łąkowej

3. Wykazane stężenie potasu w roztworach glebowych, pozyskiwanych za pomocą aparatów ssących z kubkami ceramicznymi, było niewielkie zarówno przed, jak i po zmniejszeniu dawki tego składnika i nie przekroczyło wartości 3,88 mg. Podobnie niewielkie było wymycie potasu – największe równe 1,71 kg K·ha⁻¹.

4. Stwierdzone większe wartości zarówno stężenia, jak i wymycia potasu po zmniejszeniu nawożenia tym składnikiem mogą wynikać z nieustalenia się jeszcze stanu równowagi w układzie aparat-gleba. Wymywaniu potasu sprzyjało zwiększenie dawki tego składnika, a także azotu.

LITERATURA

- BAILEY J.S., 1989. Potassium – sparing effect of calcium in perennial regrass. *J. Plant Nutr.* t. 12(8) s. 1019–1027.

- BARSZCZEWSKI J., 1997. Zachowanie się potasu, wapnia i magnezu w układzie gleba-roślinność łąki trwałej deszczowanej. Falenty: IMUZ pr. dokt. maszyn. ss. 58.
- BARSZCZEWSKI J., BURZYŃSKA I., KALIŃSKA D., 2001. Dynamika potasu w mineralnej glebie łąkowej w zależności od zróżnicowania form oraz dawek azotu, potasu i odczynu gleby. Woda Środ. Obsz. Wiej. t. 1 z. 1 s. 137–145.
- DOBOSZYŃSKI L., 1988. Nawożenie i pielęgnowanie użytków zielonych. W: Przewodnik łąkarski. Warszawa: PWRiL s. 364–417.
- HAMKALO Z., 2000. Soil potassium availability in agrophytocenosis under conditions of long-standing application of mineral fertility. Nauk. Visnyk Chernivetskogo Univ. Zbirnyk Nauk. Prats vyp. 80 s. 35–46 (w j. ukraińskim, streszcz. ang.).
- PIETRZAK S., URBANIAK M., SAPEK B., 2006. Ocena zmian stężenia mineralnych form azotu w roztworach glebowych i ich wymywania. Woda Środ. Obsz. Wiej. w niniejszym zeszycie s. 51–63.
- SAPEK B., 2000. Potassium and phosphorus balance in a long-term grassland experiments. W: Potassium and phosphorus: fertilization effect on soil and crops. Intern. Potash Institute, Lithuanian Inst. Agricult. s. 61–68.
- SAPEK B., 2006. Przedmowa. Woda Środ. Obsz. Wiej. w niniejszym zeszycie s. 5–13.

Barbara SAPEK, Jerzy BARSZCZEWSKI, Marek URBANIAK

**SIMPLIFIED POTASSIUM BALANCE IN PERMANENT, IRRIGATED
AND SCANTY FERTILISED MEADOW
IN VIEW OF ITS CONTENT IN AND UPTAKE BY PLANTS AND LEACHING FROM SOIL**

Key words: irrigated permanent meadow, leaching, potassium balance, potassium fertilization

S u m m a r y

Potassium pathways in the system meadow soil-water-plant were studied in a long-term irrigated grassland experiment at limited potassium fertilisation. The effect of decreased potassium fertilisation rate on the content and uptake of this element by plants, on potassium balance, its concentration in soil solution and leaching out of the rhizosphere was estimated. At fertilisation rate of 240–360 kg N·ha⁻¹ and 150–250 kg K·ha⁻¹ in the mineral form or 360 kg N·ha⁻¹ and 300 kg K·ha⁻¹ in the form of liquid manure supplemented with mineral fertiliser the decrease of potassium fertilisation rate by about 40% during two years did not pose the risk of over crossing the optimum range of potassium content in plants and significant losses of the yield. The increase of potassium and nitrogen fertilisation doses favoured the leaching of potassium from soil.

Praca wpłynęła do Redakcji 22.07.2005 r.

Tabela 5. Średnie z lat pobranie potasu z plonem suchej masy roślinności łąkowej dla poszczególnych obiektów nawozowych¹⁾

Table 5. Annual mean potassium uptake in the dry matter yield for several treatments¹⁾

Obiekt nawozowy Treatments	Dawka potasu Potassium dose kg K·ha ⁻¹	Lata Years	Pobranie potasu w pokosach Potassium uptake in cuts kg K·ha ⁻¹				
			I	II	III	IV	średnia suma roczna mean annual sum
N-120	100	2000–2001	31,3a	27,4a	40,2a	24,0a	122,8a
		2002–2003 ¹⁾	22,8	34,1	31,1	11,8	99,8a
N-240	150	2000–2001	40,5a	36,6a	52,4a	34,3b	163,9b
		2002–2003 ¹⁾	29,6	47,0	45,2	18,7	140,5b
N-360	250	2000–2001	57,9b	49,2b	62,7b	37,5a	207,3c
		2002–2003 ¹⁾	43,4	67,7	60,2	29,8	201,2c
N-240P-0	150	2000–2001	36,8a	33,6a	53,4a	34,9a	158,6b
		2002–2003 ¹⁾	25,8	43,2	43,9	17,7	130,6b
NG-240	150	2000–2001	44,7a	38,4a	53,5a	38,9a	175,5d
		2002–2003 ¹⁾	33,0	43,3	42,0	23,0	141,3b
NG-360	300	2000–2001	78,6c	62,4c	97,8c	60,5c	299,3e
		2002–2003 ¹⁾	78,9	83,2	74,0	38,4	274,5d

¹⁾ Dawka potasu zmniejszona o 40% w stosunku do poprzedniego okresu.

Istotność: serie* (dla średnich sum rocznych) – lata 2000–2001 (seria 1) i 2002–2003 (seria 2); nawożenie** – istotność różnic między obiektami nawozowymi w obrębie każdego z pokosów oraz dla średnich sum rocznych (a, b, c, d, e).

Objaśnienia: obiekty nawozowe, jak pod tabelą 2; * istotność różnic, gdy $\alpha = 0,05$, ** istotność różnic, gdy $\alpha = 0,01$.

¹⁾ Potassium dose decreased by 40% in comparison with previous period.

Significance: series * (for mean annual sums) – years 2000–2001 (series 1) and 2002–2003 (series 2); fertilisation** – significance of differences between treatments within each cut and for mean annual sums (a, b, c, d, e).

Explanations: fertilisation treatments as in Tab. 2; * $\alpha = 0.05$, ** $\alpha = 0.01$.

Tabela 7. Uproszczony bilans potasu w skali pola na doświadczeniu łąkowym w latach 2000–2001 i w latach 2002–2003

Table 7. Simplified potassium balance in the field scale on grassland experiment in the years 2000–2001 and in 2002–2003

Składowe bilansu Balance elements	Lata Years	Obiekt nawozowy – kod doświadczenia Treatment – cod of experiment					
		N-120	N-240	N-240P-0	N-360	NG-240	NG-360
		K-100	K-150	K-150	K-250	K-150	K-300
Ilość potasu wniesiona z nawozem (S1), kg K·ha ⁻¹ Input of potassium with fertilizer (S1), kg K·ha ⁻¹	2000–2001 2002–2003 ¹⁾	200 120	300 180	300 180	500 300	300 180	600 360
Ilość potasu pobranego z plonem (S2), kg K·ha ⁻¹ Potassium uptaken with the yield (S2), kg K·ha ⁻¹	2000–2001 2002–2003 ¹⁾	246 200	328 281	317 261	415 402	351 283	599 549
Różnica (S1 – S2), kg K·ha ⁻¹ Difference (S1 – S2), kg K·ha ⁻¹	2000–2001 2002–2003 ¹⁾	–46 –80	–28 0101	–17 –81	+85 –102	–51 –103	+1 189
Wykorzystanie potasu, % Potassium use, %	2000–2001 2002–2003 ¹⁾	123 166,6	109,3 156,1	105,7 145	83 134,7	117 157,2	99,8 152,5
Pobranie z zapasu w glebie, % Uptake from the soil store, %	2000–2001 2002–2003 ^{1/}	23 66,6	9,3 56,1	5,7 45	zbędne unnecessary 34,7	17 57,2	zbędne unnecessary 52,5

¹⁾ Dawka potasu zmniejszona o 40% w stosunku do poprzedniego okresu.

Objaśnienia: N, NG, P-0 – jak pod tabelą 2.

¹⁾ Potassium dose decreased by 40 % in comparison with previous period.

Explanations: N, NG, P-0 – as in Tab. 2.

Tabela 9. Średnie roczne stężenie potasu w roztworach glebowych spod doświadczenia w latach 2000–2003¹⁾

Table 9. Mean annual concentration of potassium in soil solutions in the experiment in 2000–2003¹⁾

Obiekt nawozowy Treatments	Dawka potasu Potassium dose kg K·ha ⁻¹	Stężenie K (mg·dm ⁻³) w latach K concentration (mg·dm ⁻³) in years									
		2000		2001		2002 ¹⁾		2003 ¹⁾		średnia	mean
		\bar{x}	<i>SD</i>	\bar{x}	<i>SD</i>	\bar{x}	<i>SD</i>	\bar{x}	<i>SD</i>	2000– –2001	2002– –2003
N-120	100	0,54	0,27	0,35	0,13	0,94	1,27	2,16	3,26	0,44	1,55
N-240	150	3,17	6,55	4,60	6,69	1,02	0,54	1,93	0,77	3,88	1,47
N-240P-0	150	1,76	0,69	0,78	0,39	0,83	0,29	1,32	0,49	1,27	1,07
NG-240	150	1,26	0,60	0,76	0,36	1,35	1,45	2,56	2,94	1,01	1,95
N-360	250	1,40	0,71	1,16	0,96	1,38	0,94	1,13	0,74	1,28	1,25
NG-360	300	0,74	0,40	0,44	0,20	0,54	0,27	0,48	0,21	0,59	0,51

¹⁾ Dawka potasu zmniejszona o 40% w stosunku do poprzedniego okresu.

Objaśnienia: \bar{x} – średnia wartość z 4 powtórzeń; *SD* – odchylenie standardowe; obiekty nawozowe jak pod tabelą 2.

¹⁾ Potassium dose decreased by 40 % in comparison with previous period.

Explanations: \bar{x} – mean from 4 repetitions, *SD* – standard deviation; fertilisation treatments as in Tab. 2.