

**MIKROELEMENTY W ROŚLINNOŚCI ŁĄKOWEJ  
NAWOŻONEJ AZOTEM W WIELOLECIU  
PRZED I PO JEDNORAZOWYM ZASTOSOWANIU  
MIKRONAWOZÓW  
NA TLE NASTĘPCZEGO WPŁYWU WAPNOWANIA  
CZĘŚĆ II. ZMIANY POBRANIA MANGANU, CYNKU I MIEDZI  
Z PLONEM**

**Barbara SAPEK**

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zakład Ochrony Jakości Wody

*Słowa kluczowe: długoletnie doświadczenia, mikroelementy, mikronawozy, nawożenie, pobranie z plonem, roślinność łąkowa*

**Streszczenie**

Oceniono pobranie Mn, Zn i Cu z plonem roślinności oraz jego zmiany na doświadczeniach łąkowych w ponad 20-letnim okresie badań, w warunkach braku nawożenia gleby tymi mikroelementami oraz po jednorazowym zastosowaniu mikronawozu. Zagadnienie rozważono na tle nawożenia azotem i następczego wpływu wapnowania w aspekcie wyboru i sposobu stosowania mikronawozów na użytki zielone, uwzględniającego jednocześnie potrzebę ochrony gleby i uzyskania dobrej jakości paszy łąkowej. Pobranie badanych mikroelementów z plonem roślinności przed zastosowaniem mikronawozów było dość stabilne w ramach wydzielonych obiektów nawozowych. Proces reacydyfikacji gleby z obiektów uprzednio wapnowanych sprzyjał zwiększeniu pobrania manganu wraz z upływem lat. Jednorazowe nawożenie gleby mikroelementami w ilości: 50 kg Mn·ha<sup>-1</sup>, 30 kg Zn·ha<sup>-1</sup> i 10 kg Cu·ha<sup>-1</sup> z reguły zwiększyło ich pobranie, lecz działanie to było stosunkowo krótkotrwałe i zależało od zawartości badanych mikroelementów w roślinności oraz od właściwości gleby, zwłaszcza zasobności w materię organiczną. Wynikało też z różnic we właściwościach chemicznych pierwiastków. Pobranie mikroelementów zmniejszało się w wyniku następczego wpływu wapnowania

gleby. Natomiast stosowanie większej dawki azotu skutkowało jego zwiększeniem, głównie z powodu wzrostu plonu roślinności. Rozważono sposoby uzupełniania niedoborów omawianych mikroelementów poprzez nawożenie gleby oraz dolistne dokarmianie roślinności. Z ich porównania wynika, iż należałoby preferować nawożenie dolistne. Jednak, w warunkach znacznego niedoboru któregoś z nich w glebie, proponowane w nawożeniu dolistnym dawki mogą być niewystarczające do uzyskania pożądanej jakości paszy łąkowej. Właściwe gospodarowanie glebowymi zasobami mikroelementów wymaga zachowania pH optymalnego dla gleby łąkowej.

## WSTĘP

Produkcja dobrej jakości paszy łąkowej wymaga warunków, które zapewnią uzyskanie pożądanej, ze względu na żywienie przeżuwaczy, zawartości podstawowych oraz uzupełniających składników pokarmowych w runi [COPPENET, SIMON, 1984; FALKOWSKI, KUKUŁKA, 1978]. Dlatego, oprócz nawożenia azotem, fosforem i potasem, a także magnezem oraz zachowania właściwego odczynu dla gleb użytków zielonych, wymagane jest dostarczanie niezbędnych mikroelementów. Mając to na uwadze, w części I pracy dyskutowano, czy, kiedy i jak nawozić mikroelementami łąki kośne oraz pastwiska, aby roślinność spełniała pożądane kryteria dobrej paszy i jednocześnie zachowane były kryteria ochrony gleby przed nadmiernym wzbogaceniem w te składniki [SAPEK, 2010]. W podejmowanych w latach 70. ubiegłego wieku badaniach nad potrzebą nawożenia gleb użytków zielonych mikroelementami kładziono nacisk, między innymi, na opłacalność tego zabiegu oraz na skutki powodowane nadmiarem mikroelementów w glebie [WALCZYNA, OKRUSZKO, 1972]. Obecnie szczególną uwagę, oprócz dogłębowego stosowania mikronawozów, zwraca się na dolistne dokarmianie roślinności łąkowej mikroelementami, ponieważ stosuje się wtedy znacznie mniejsze dawki mikronawozów [DOMAŃSKI, 2009; JANKOWSKA-HUFLEJT, 2009; KOPEĆ, GONDEK, 2004; SKURZYŃSKI, 2009]. Gleba wymaga ochrony, jest bowiem nieodnawialnym zasobem przyrody kształtującym krajobraz, siedliskiem żywych organizmów oraz dziedzictwem człowieka i jego działalności [COM(2006)231; COM(2006)232, 2006]. Ocena pobrania mikroelementów z plonem roślinności oraz przebiegu jego zmian w wieloleciu, w odniesieniu do zastosowanej dawki mikronawozu, może być pomocna w wytyczeniu optymalnego kierunku w nawożeniu użytków zielonych mikroelementami.

Celem niniejszej – części II pracy – była ocena średniego z wielolecia pobrania manganu, cynku i miedzi z plonem roślinności łąkowej oraz jego dynamiki na podstawie średnich rocznych zmian pobrania w warunkach braku nawożenia gleby tymi mikroelementami oraz po jednorazowym zabiegu nawożenia w ponad 20-letnim okresie badań. Zagadnienie rozważono na tle nawożenia azotem i następczego wpływu wapnowania w aspekcie wyboru i propozycji sposobu stosowania mikronawozów na użytki zielone, spełniającego wymogi ochrony gleby i jednocześnie zapewniającego dobrą jakość paszy łąkowej.

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

W pracy wykorzystano wyniki badań dotyczących pobrania manganu, cynku i miedzi z plonem roślinności na przykładzie dwóch ścisłych, długoletnich doświadczeń łąkowych nad następczym wpływem wapnowania na tle nawożenia azotem, założonych na kwaśnej glebie mineralnej – czarnej ziemi zdegradowanej, usytuowanych w województwie mazowieckim w miejscowościach Janki (doświadczenie J, lata 1981–2007) i Laszczki (doświadczenie L, lata 1982–2003). Począwszy od 2004 r., na doświadczeniu L zaniechano zbioru runi z uwagi na zmianę jego programu. Na obydwóch doświadczeniach zastosowano jednorazowo jesienią 1990 r. nawożenie mikroelementami. Pobranie badanych mikroelementów z plonem i jego zmiany przed i po zastosowaniu mikronawozów oceniono na podstawie wyników analizy próbek pochodzących z obiektów niewapnowanych ( $Ca_0$ ) oraz jednorazowo wapnowanych na początku doświadczeń węglanową formą nawozu – dawką obliczoną według kryterium kwasowości hydrolitycznej – 1Hh ( $Ca_1$ ) i 2 Hh ( $Ca_2$ ), a także nawożonych saletrą amonową w ilości 120 i 240 kg N·ha<sup>-1</sup> ( $N_1$  i  $N_2$ ). Szczegółowe dane metodyczne oraz opis doświadczeń, a także charakterystykę właściwości fizykochemicznych gleb podano w części I pracy [SAPEK, 2010] oraz w opracowaniu SAPEK [2006].

## WYNIKI BADAŃ

### ŚREDNIE POBRANIE MIKROELEMENTÓW Z PLONEM ROŚLINNOŚCI W WIELOLECIU

**Mangan.** Pobranie Mn oraz pozostałych mikroskładników z plonem roślinności wyrażono w kg·ha<sup>-1</sup>, mając na uwadze porównanie z zastosowanymi dawkami mikronawozów (tab. 1–3). Średnie pobranie Mn w doświadczeniu J, w okresie poprzedzającym nawożenie manganem (1981–1990), było około dwukrotnie większe (10,8 kg·ha<sup>-1</sup>) niż w doświadczeniu L (4,6 kg·ha<sup>-1</sup>) (tab. 1). Wynikało to ze znacznie większej zawartości Mn w roślinności tego doświadczenia, co przedstawiono w części I pracy. W warunkach obu doświadczeń, uprzednie wapnowanie gleby zmniejszało, prawie dwukrotnie, pobranie Mn z plonem z obiektu  $Ca_2$  w porównaniu z obiektem niewapnowanym ( $Ca_0$ ). Większa dawka azotu ( $N_2$ ) sprzyjała zwiększeniu pobrania Mn. W wydzielonym, 10-letnim okresie po nawożeniu gleby manganem (1991–2000) w ilości 50 kg Mn·ha<sup>-1</sup>, jego średnie pobranie zwiększyło się na doświadczeniu L oraz na obiektach wapnowanych obu doświadczeń. Pobrana z plonem średnia ilość Mn w tym okresie stanowiła na doświadczeniu J od 22,2% ( $Ca_2$ ) do 30,6% ( $Ca_0$ ), a na doświadczeniu L – tylko od 12,6% ( $Ca_2$ ) do 18,6% ( $Ca_0$ ) zastosowanej dawki w mikronawozie. Uwzględniając cały okres po nawożeniu Mn, pobrana średnia ilość Mn z plonem z doświadczenia J w ciągu 17 lat sta-

**Tabela 1.** Sumaryczne pobranie manganu (Mn) z plonem trzech pokosów roślinności łąkowej z obiektów nawozowych doświadczonych przed i po jednorazowym zastosowaniu mikronawozu jesienią 1990 r. ( $\text{Mn} - 50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) w wydzielonych latach badań: w Jankach (1981–1990, 1991–2000, 1991–2007) i Laszczkach (1982–1990, 1991–1999, 1991–2003)

**Table 1.** Summary uptake of manganese (Mn) by annual yield of three plant cuts from fertilisation objects of experiments before and after single application of micro-fertilisers in autumn 1990 ( $\text{Mn} - 50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) in selected study years: in Janki (1981–1990, 1991–2000, 1991–2007) and Laszczki (1982–1990, 1991–1999, 1991–2003)

Okres badawczy Study period	Lata Years	Pobranie Mn z plonem Uptake of Mn by plant yield	Obiekty nawozowe Fertilisation objects					średnio <sup>1)</sup> mean <sup>1)</sup>
			Ca <sub>0</sub>	Ca <sub>1</sub>	Ca <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	
Przed nawożeniem Mn Before fertilisation with Mn Po nawożeniu Mn After fertilisation with Mn	1981–1990	kg·ha <sup>-1</sup>	15,8	9,7	7,0	9,4	12,3	10,8
	1991–2000	kg·ha <sup>-1</sup>	15,3	14,3	11,1	12,3	15,1	13,6
	1991–2007	% dawki Mn, % of Mn dose % dawki Mn, % of Mn dose	30,6 25,5	28,6 24,8	22,2 21,4	24,2 22,4	30,2 25,9	27,2 24,0
Przed nawożeniem Mn Before fertilisation with Mn Po nawożeniu Mn After fertilisation with Mn	1982–1990	kg·ha <sup>-1</sup>	7,0	3,9	3,0	4,1	5,2	4,6
	1991–1999	kg·ha <sup>-1</sup>	9,3	7,9	6,3	7,2	8,5	7,8
	1991–2003	% dawki Mn, % of Mn dose % dawki Mn, % of Mn dose	18,6 12,4	15,8 10,9	12,6 8,7	14,4 9,7	17,0 11,7	15,6 10,6

<sup>1)</sup> Średnie pobranie z wszystkich obiektów doświadczania.

Objasnienia: Ca<sub>0</sub> – obiekty niewapnowane, obiekty wapnowane: Ca<sub>1</sub> wg 1Hh, Ca<sub>2</sub> wg 2Hh; obiekty nawożone saletrą amonową: N<sub>1</sub> – 120 kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>2</sub> – 240 kg N·ha<sup>-1</sup>

<sup>1)</sup> Mean uptake from all experimental objects.

Explanations: Ca<sub>0</sub> – not limed objects, limed objects: Ca<sub>1</sub> – according to 1Hh, Ca<sub>2</sub> – according to 2Hh; objects fertilised with ammonium nitrate: N<sub>1</sub> – 120 kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>2</sub> – 240 kg N·ha<sup>-1</sup>

**Tabela 2.** Sumaryczne pobranie cynku (Zn) z plonem trzech pokosów roślinności łąkowej z obiektów nawozowych doświadczonych przed i po jednorazowym zastosowaniu mikronawozu jesienią 1990 r. (Zn – 30 kg·ha<sup>-1</sup>) w wydziałelonych latach badań: w Jankach (1981–1990, 1991–2000, 1991–2007) i Laszczkach (1982–1990, 1991–1999, 1991–2003)

**Table 2.** Summary uptake of zinc (Zn) by annual yield of three plant cuts from fertilisation objects of experiments before and after single application of micro-fertilisers in autumn 1990 (Zn – 30 kg·ha<sup>-1</sup>) in selected study years: in Janki (1981–1990, 1991–2000, 1991–2007) and Laszczki (1982–1990, 1991–1999, 1991–2003)

Okres badawczy Study period	Lata Years	Pobranie Zn z plonem Uptake of Zn by plant yield	Obiekty nawozowe Fertilisation objects					średnio <sup>1)</sup> mean <sup>1)</sup>
			Ca <sub>0</sub>	Ca <sub>1</sub>	Ca <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	
Przed nawożeniem Zn Before fertilisation with Zn	1981–1990	kg·ha <sup>-1</sup>	2,6	2,2	2,1	2,0	2,6	2,3
	1991–2000	kg·ha <sup>-1</sup>	3,0	3,2	3,0	2,9	3,3	3,1
	1991–2007	% dawki Zn, % of Zn dose	10,0	10,7	10,0	9,7	11,0	10,3
After fertilisation with Zn	1991–2007	kg·ha <sup>-1</sup>	4,1	4,7	4,5	4,2	4,6	4,4
		% dawki Zn % of Zn dose	13,7	15,5	15,0	14,0	15,7	14,8
Nie nawożono Zn! Not fertilised with Zn!	1982–1990	kg·ha <sup>-1</sup>	3,0	2,6	2,4	2,3	3,0	2,7
	1991–1999	kg·ha <sup>-1</sup>	1,8	1,8	1,6	1,6	1,8	1,7
	1991–2003	kg·ha <sup>-1</sup>	2,8	2,7	2,4	2,4	2,8	2,6

<sup>1)</sup> Średnie pobranie z wszystkich obiektów doświadczania.

Objaśnienia, jak pod tabelą 1.

<sup>1)</sup> Mean uptake from all experimental objects.

Explanations as in Tab. 1.

**Tabela 3.** Summaryczne pobranie miedzi (Cu) z plonem trzech pokosów roślinności łąkowej z obiektów nawozowych doświadczonych przed i po jednorazowym zastosowaniu mikronawozu jesienią 1990 r. (Cu – 10 kg·ha<sup>-1</sup>) w wydziałonych latach badań: w Jankach (1981–1990, 1991–2000, 1991–2007) i Laszczkach (1982–1990, 1991–1999, 1991–2003)

**Table 3.** Summary uptake of copper (Cu) by annual yield of three plant cuts from fertilisation objects of experiments before and after single application of micro-fertilisers in autumn 1990 (Cu – 10 kg·ha<sup>-1</sup>) in selected study years: in Janki (1981–1990, 1991–2000, 1991–2007) and Laszczki (1982–1990, 1991–1999, 1991–2003)

Okres badawczy Study period	Lata Years	Pobranie Cu z plonem Uptake of Cu by plant yield	Obiekty nawozowe Fertilisation objects					
			Ca <sub>0</sub>	Ca <sub>1</sub>	Ca <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	średnio <sup>1)</sup> mean <sup>1)</sup>
Przed nawożeniem Cu Before fertilisation with Cu Po nawożeniu Cu After fertilisation with Cu	1981–1990	kg·ha <sup>-1</sup>	0,44	0,43	0,41	0,39	0,46	0,43
	1991–2000	kg·ha <sup>-1</sup>	0,47	0,52	0,50	0,45	0,55	0,50
	1991–2007	% dawki Cu, % of Cu dose	0,68	0,79	0,80	0,69	0,82	0,76
Przed nawożeniem Cu Before fertilisation with Cu Po nawożeniu Cu After fertilisation with Cu	1982–1990	kg·ha <sup>-1</sup>	0,69	0,62	0,60	0,52	0,74	0,63
	1991–1999	kg·ha <sup>-1</sup>	0,53	0,55	0,55	0,47	0,62	0,54
	1991–2003	kg·ha <sup>-1</sup>	0,79	0,80	0,79	0,68	0,92	0,79
		% dawki Cu, % of Cu dose	7,9	8,0	7,9	6,8	9,2	7,9

<sup>1)</sup> Średnie pobranie z wszystkich obiektów doświadczania.  
Objaśnienia: jak pod tabelą 1.

<sup>1)</sup> Average uptake from all objects of experiment.  
Explanations as in the Table 1.

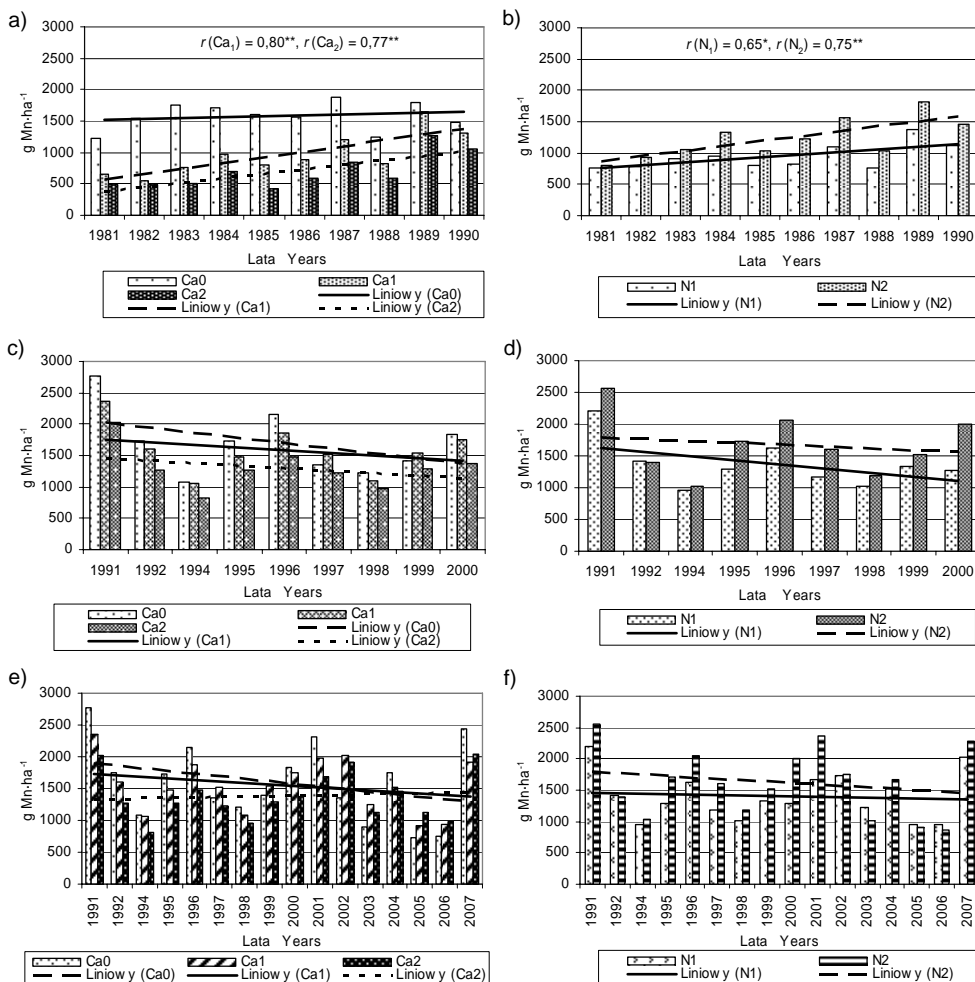
nowiła tylko 48%, a w ciągu 13 lat z doświadczenia L – 21,3% zastosowanej dawki Mn (tab. 1).

**Cynk.** Średnie pobranie Zn z rocznym plonem roślinności w latach 1981/82–1990 było na obu doświadczeniach podobne – 2,3–2,6 kg·ha<sup>-1</sup> (tab. 2). Na nienawożonym Zn doświadczeniu L to pobranie zmniejszało się wraz z upływem lat. Po zastosowaniu mikronawozu na doświadczeniu J zwiększyło się w kolejnym 10-leciu (1991–2000) i stanowiło 10,3% zastosowanej dawki Zn. W ciągu całego okresu po nawożeniu cynkiem (1991–2007) pobranie tego mikroelementu z plonem, porównane z ilością wprowadzonego do gleby Zn, wyniosło tylko 14,8% tej ilości (tab. 2).

**Miedź.** W okresie przed nawożeniem miedzią, roślinność z doświadczenia L pobierała średnio z plonem więcej miedzi (0,63 kg·ha<sup>-1</sup>) niż roślinność z doświadczenia J (0,43 kg·ha<sup>-1</sup>), większa była również zawartość tego składnika w roślinności na doświadczeniu L (tab. 3) [SAPEK, 2010]. Po zastosowaniu mikronawozu w latach 1991–1999/2000 średnie pobranie Cu z wszystkich obiektów na obu doświadczeniach było podobne (0,50–0,54 kg·ha<sup>-1</sup>) i nie różniło się znacząco w przypadku obiektów niewapnowanych i wapnowanych. Jednak w miarę upływu lat następczy wpływ wapnowania oraz większa dawka azotu sprzyjały pobraniu miedzi z plonem, zwłaszcza w warunkach doświadczenia J (tab. 3). Szczególną uwagę zwraca niewielka ilość Cu pobrana z plonem, która w odniesieniu do zastosowanej dawki tego mikroelementu stanowi średnio tylko ok. 5–5,4% w przypadku obu doświadczeń. Podobnie ilość pobranej Cu – w ciągu 17 lat na doświadczeniu J i 13 lat na doświadczeniu L – wyniosła maksymalnie tylko 8,2–9,2% zastosowanej dawki miedzi i to w warunkach większej dawki azotu (tab. 3).

#### ZMIANY POBRANIA MIKROELEMENTÓW Z PLONEM ROŚLINNOŚCI W WIELOLECIU

**Mangan.** Analiza zmian średniego rocznego pobrania Mn w okresie przed zastosowaniem mikronawozu na doświadczeniu J oraz istotne jego zwiększenie z upływem lat z obiektów wapnowanych może wskazywać na sprzyjający pobieraniu tego składnika przez roślinność wpływ przebiegającego w tych warunkach procesu reacydyfikacji na tym doświadczeniu (rys. 1a) [SAPEK, 1993]. Znajduje to potwierdzenie w wykazanym w części I pracy zwiększeniu zawartości Mn w roślinności z tego okresu. Statystycznie istotne zmniejszenie w tym okresie średnich rocznych plonów suchej masy na niewapnowanych obiektach ( $r = -0,73^*$ ), a ustabilizowanie plonów na obiektach wapnowanych, potwierdzają pozytywny, następczy wpływ wapnowania (rys. 2b). W tych latach wykazano również zwiększenie średnich wartości pobrania Mn w przypadku stosowania obydwu dawek azotu. (rys. 1b).

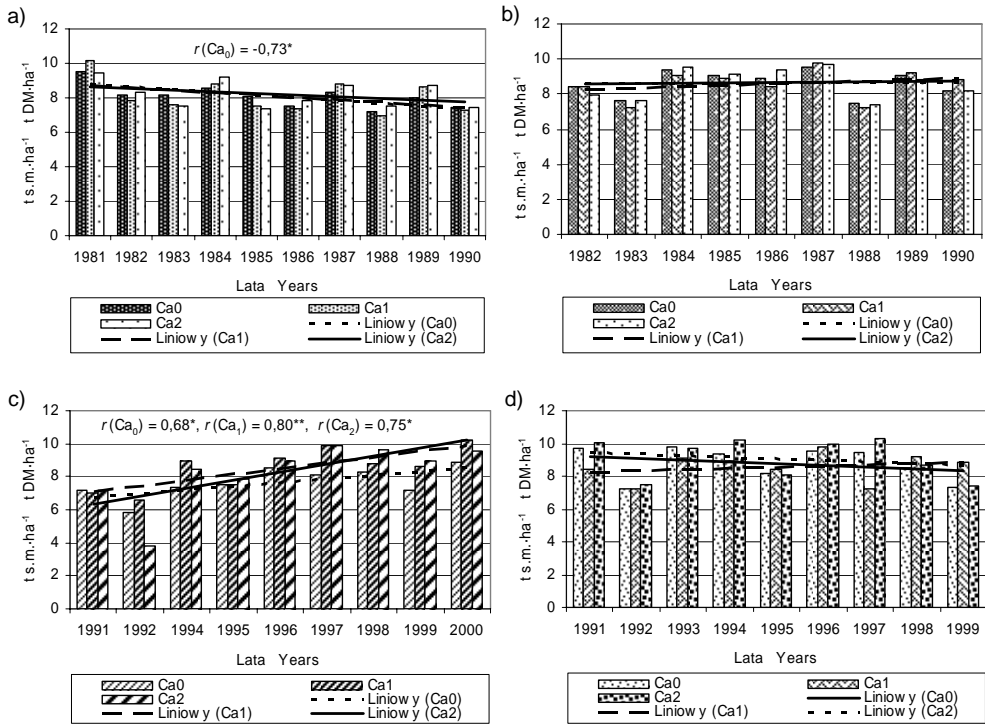


Rys. 1. Pobranie manganu (Mn) z rocznym plonem s.m. roślinności trzech pokosów na doświadczeniu w Jankach – przed (1981–1990; a, b) i po nawiezieniu manganem (1991–2000; c, d; 1991–2007; e, f) na tle wpływu wapnowania ( $Ca_0$ ,  $Ca_1$ ,  $Ca_2$ ) i nawożenia azotem ( $N_1$ ,  $N_2$ )

Fig. 1. Uptake of manganese by the DM yield of three plant cuts in Janki experiment – before (1981–1990; a, b) and after fertilisation with manganese (1991–2000; c, d; 1991–2007; e, f) in relation to the liming effect ( $Ca_0$ ,  $Ca_1$ ,  $Ca_2$ ) and nitrogen fertilisation ( $N_1$ ,  $N_2$ )

Pobranie Mn przez roślinność z doświadczenia L, znacznie większe z obiektów  $Ca_0$  oraz po nawożeniu dawką azotu  $N_2$ , wykazało w tym okresie pewną stabilność, podobnie jak plony suchej masy (rys. 2b i 3a, b). Po nawożeniu gleby manganem jego pobranie na tym doświadczeniu, zwiększone w okresie ok. 2–5 lat, w dalszych latach zmniejszało się. W ciągu pierwszych 10 lat od zastosowania mikronawozu różnicowanie pobrania Mn przez roślinność z obiektów niewapnowanych i wap-



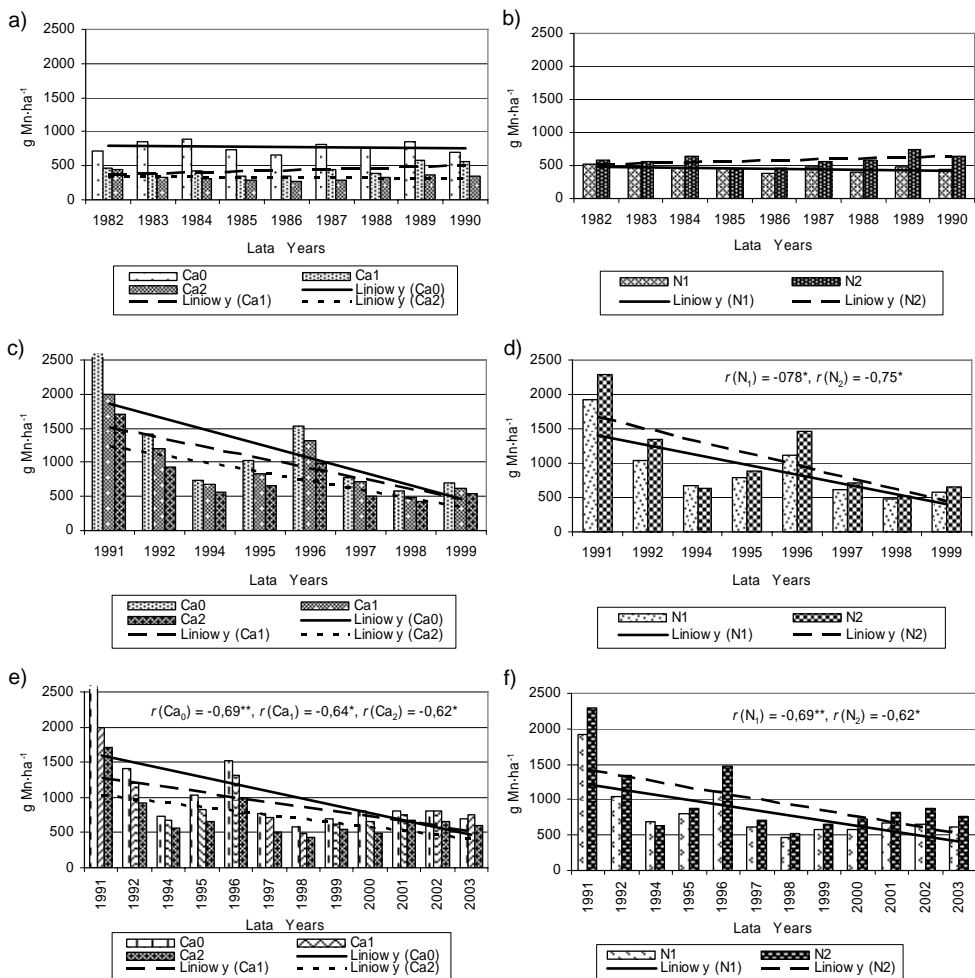


Rys. 2. Zmiany średnich rocznych plonów s.m. roślinności trzech pokosów z obiektów niewapnowanych ( $\text{Ca}_0$ ) i wapnowanych ( $\text{Ca}_1$ ,  $\text{Ca}_2$ ) z doświadczeń a), c) w Jankach i b), d) w Laszczkach przed zastosowaniem (1981–1990, 1982–1990) i po zastosowaniu mikronawozów (1991–2000 i 1991–1999)

Fig. 2. Changes in the mean annual DM yields of three plant cuts from not limed ( $\text{Ca}_0$ ) and limed ( $\text{Ca}_1$ ,  $\text{Ca}_2$ ) objects in experiments: a), c) in Janki, b), d) in Laszczki before application of micro-fertilisers (1981–1990, 1982–1990) and after their application (1991–2000 and 1991–1999)

nowanych skutkowało brakiem istotnej zależności od upływu lat, natomiast było udowodnione dla średnich z obiektów nawożonych obiema dawkami azotu (rys. 3c, d). Rozpatrując cały okres po nawożeniu gleby manganem, wykazano istotne zmniejszenie jego pobrania z plonem wraz z upływem lat. Począwszy od 1997 r. obserwowano ustabilizowanie rocznego pobrania Mn w zakresie 500–800 g·ha<sup>-1</sup> (0,5–0,8 kg·ha<sup>-1</sup>) (rys. 3e, f).

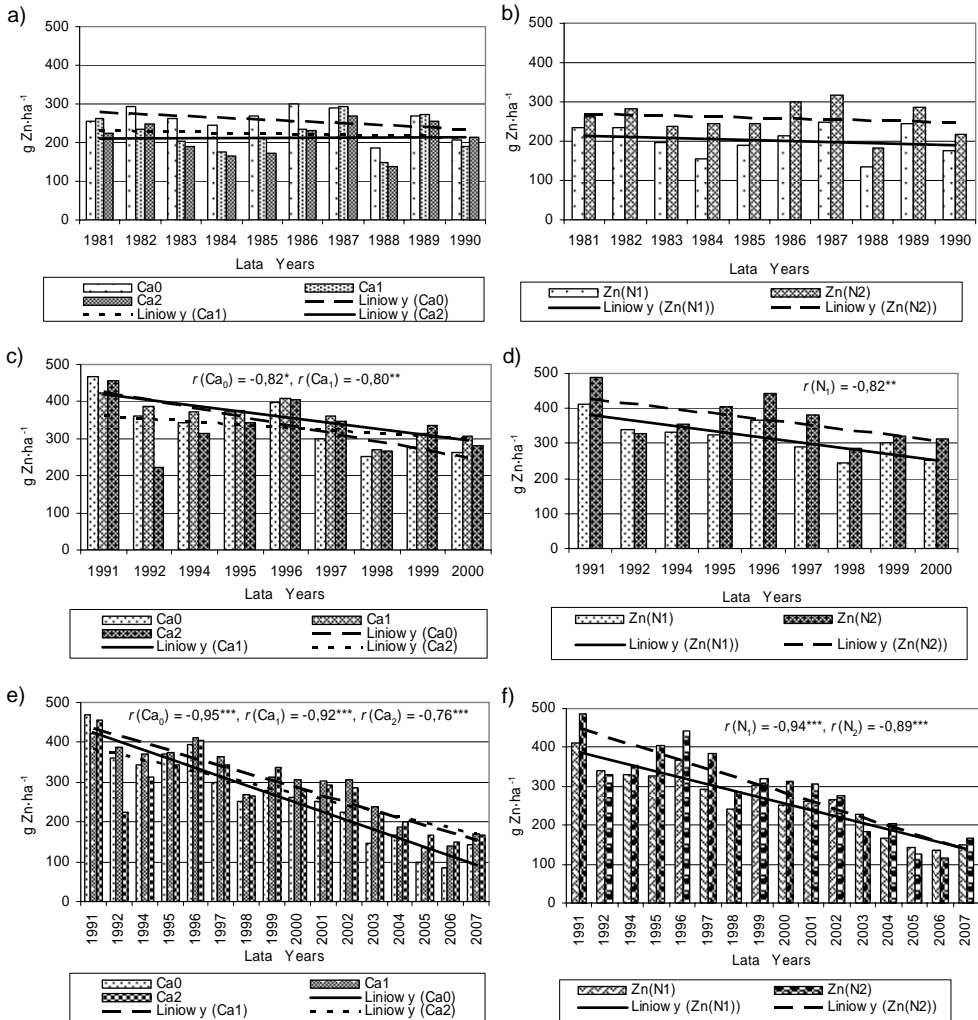
Po zastosowaniu mikronawozu na doświadczeniu J roczne pobranie Mn wykazywało dużą zmienność i to w przypadku średnich z wszystkich badanych obiektów nawozowych, podobnie jak w przypadku zawartości Mn [SAPEK, 2010]. Począwszy od 2001 r. obserwowano zmniejszenie pobrania Mn, z wyjątkiem ostatniego roku badań (2007) (rys. 3e, f).



Rys. 3. Pobranie manganu (Mn) z rocznym plonem roślinności trzech pokosów na doświadczeniu w Laszczkach – przed (1982–1990; a, b) i po nawożeniu manganem (1991–1999; c, d; 1991–2003; e, f) na tle wpływu wapnowania ( $Ca_0$ ,  $Ca_1$ ,  $Ca_2$ ) i nawożenia azotem ( $N_1$ ,  $N_2$ )

Fig. 3. Uptake of manganese by the DM yield of three plant cuts in Laszczki experiment – before (1981–1990; a, b) and after fertilisation with manganese (1991–2000; c, d; 1991–2007; e, f) in relation to the liming effect ( $Ca_0$ ,  $Ca_1$ ,  $Ca_2$ ) and nitrogen fertilisation ( $N_1$ ,  $N_2$ )

**Cynk.** Stwierdzone zmiany średniego rocznego pobrania Zn w latach przed zastosowaniem mikronawozu na doświadczeniu J wykazywały stabilność (rys. 4a), podobnie jak w przypadku zawartości tego składnika w roślinności [SAPEK, 2010]. Z obiektów niewapnowanych roślinność pobrała więcej cynku. Po zastosowania mikronawozu i po ok. 5-letnim okresie zwiększonego pobrania Zn następowało jego systematyczne zmniejszanie się w miarę upływu lat, zarówno na obiektach

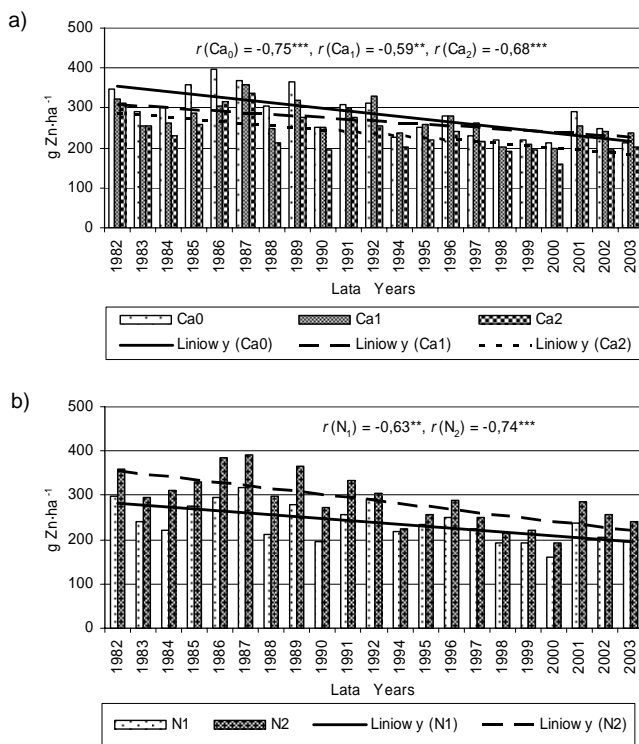


Rys. 4. Pobranie cynku (Zn) z rocznym plonem roślinności trzech pokosów na doświadczeniu w Jankach – przed (1981–1990; a, b) i po nawożeniu cynkiem (1991–2000; c, d; 1991–2007; e, f) na tle wpływu wapnowania ( $\text{Ca}_0$ ,  $\text{Ca}_1$ ,  $\text{Ca}_2$ ) i nawożenia azotem ( $\text{N}_1$ ,  $\text{N}_2$ )

Fig. 4. Uptake of zinc by the DM yield of three plant cuts in Janki experiment – before (1981–1990; a, b) and after fertilisation with manganese (1991–2000; c, d; 1991–2007; e, f) in relation to the liming effect ( $\text{Ca}_0$ ,  $\text{Ca}_1$ ,  $\text{Ca}_2$ ) and nitrogen fertilisation ( $\text{N}_1$ ,  $\text{N}_2$ )

niewapnowanych, jak i wapnowanych, co potwierdziły istotne, ujemne współczynniki korelacji Pearsona (rys. 4c, e).

Na nienawożonym cynkiem doświadczeniu L jego pobranie z plonem, większe na dawce azotu  $\text{N}_2$ , istotnie zmniejszało się na wszystkich obiektach wraz z upływem lat (rys. 5a, b). Było to skutkiem zmniejszania zawartości tego składnika



Rys. 5. Pobranie cynku (Zn) z rocznym plonem roślinności trzech pokosów na nienawożonym cynkiem doświadczeniu w Laszczkach (1982–2003; a) na tle wpływu wapnowania (Ca<sub>0</sub>, Ca<sub>1</sub> Ca<sub>2</sub>) i b) nawożenia azotem (N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>)

Fig. 5. Uptake of zinc by the DM yield of three plant cuts in Laszczki experiment not fertilised with Zn (1982–2003); a) in relation to the liming effect (Ca<sub>0</sub>, Ca<sub>1</sub> Ca<sub>2</sub>) and b) nitrogen fertilisation (N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>)

w roślinności w tych latach [SAPEK, 2010], plonowanie bowiem było w tym okresie na stałym poziomie (rys. 2b, d).

**Miedź.** Dynamika zmian rocznego pobrania miedzi z plonem była odmienna na obu doświadczeniach. Zmniejszanie się pobrania Cu na doświadczeniu J z upływem lat, w okresie poprzedzającym zastosowanie mikronawozu, istotne na obiektach niewapnowanych oraz na obu dawkach azotu, było z pewnością związane z tendencją spadkową zawartości Cu w tym czasie (rys. 6a, b) [SAPEK, 2010]. Po nawożeniu miedzią zwiększyło się jej pobranie z plonem w 10-letnim okresie, udowodnionym statystycznie i wykazanym w warunkach wszystkich obiektów nawozowych (rys. 6c, d). Było ono w głównej mierze skutkiem udowodnionego statystycznie wzrostu plonowania roślinności w tych latach (rys. 2c). Jednak wykazana w tym okresie tendencja do większej zawartości miedzi w roślinności może wskazywać na sprzyjające plonowaniu nawożenie gleby miedzią [SAPEK, 2010]. W dalszych latach, począwszy od 2001 r., nastąpiło zmniejszenie pobrania Cu

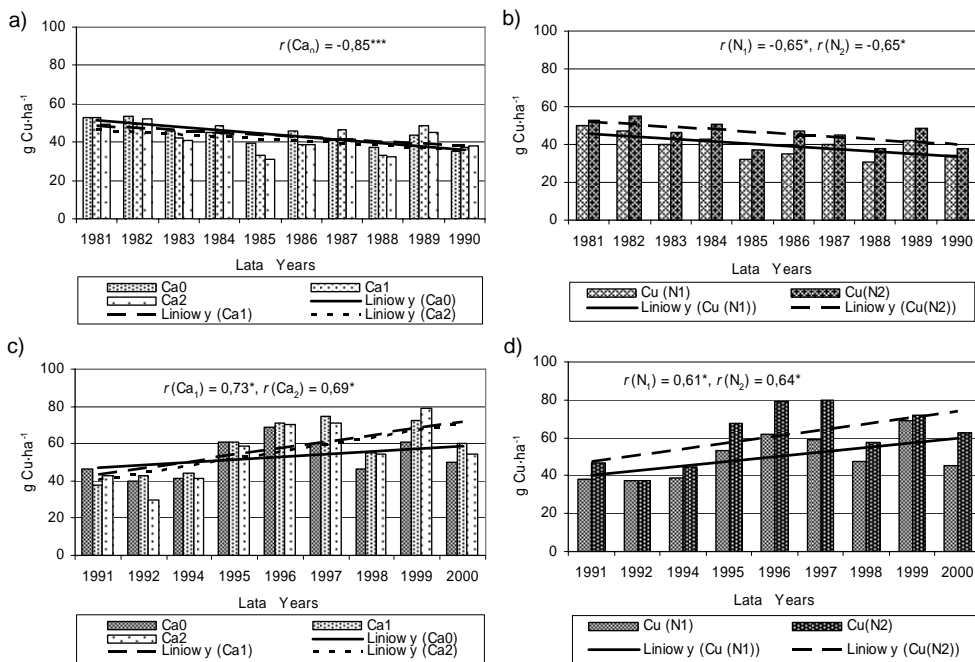
przez roślinność z tego doświadczenia, istotne na obiektach niewapnowanych w latach 1991–2007, a począwszy od 2001 r. – na wszystkich badanych obiektach (rys. 6e–h).

Pobranie miedzi z plonem na doświadczeniu L, w okresie poprzedzającym zastosowanie mikronawozu, było dość stabilne i znacznie większe z obiektów nawożonych większą dawką azotu (rys. 7a, b). Po zastosowaniu mikronawozu w latach 1991–1999 obserwowano tendencję do zmniejszania się pobrania Cu z plonem roślinności, a w latach 1991–2003 zmiany te były istotne na obiektach wapnowanych i po zastosowaniu mniejszej dawki azotu. Jednak wyraźnie zaznacza się zwiększone pobranie miedzi w latach 1991–1997 (rys. 7c–f). W tym czasie stwierdzono również zwiększanie się zawartości Cu w roślinności po nawożeniu gleby miedzią [SAPEK, 2010]. Przy obserwowanej, względnej stabilności plonowania można sądzić, iż większe pobranie miedzi w pierwszych 6 latach po zastosowaniu mikronawozu było skutkiem zwiększenia zasobności gleby w ten składnik (rys. 2d).

## DYSKUSJA WYNIKÓW

Ilość mikroelementów pobierana z plonem roślinności łąkowej wskazuje na pewną stałość w podobnych warunkach glebowych i nawożenia. Potwierdzają to badania DOBOSZYŃSKIEGO i in. [1976] nad pobraniem manganu, cynku i miedzi z plonem roślinności wykonane w latach 1965–1975, po zastosowaniu nawożenia PK i  $120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ , z pastwiska położonego w rejonie Falent o podobnych właściwościach gleby, jak na doświadczeniu J. Wyniosło ono: Mn –  $11,3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , Zn –  $2,9 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , Cu –  $0,55 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Dla porównania, średnie ilości mikroelementów pobrane z plonem roślinności z prezentowanego w niniejszej pracy doświadczenia J w 10-letnim okresie (1981–1990) wyniosły: Mn –  $10,8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , Zn –  $2,3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , Cu –  $0,43 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Można z przybliżeniem przyjąć, że w tych warunkach średnie roczne pobranie badanych mikroelementów wynosi: Mn –  $1100 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ , Zn –  $260 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ , Cu –  $47 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ . KUCZYŃSKA [1992] w swych badaniach wykazała, iż roślinność łąkowa z gleby torfowo-murszowej nawożonej azotem ( $120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) oraz jednorazowo miedzią ( $20 \text{ kg Cu}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) pobrała z 1 ha 300–353 g Cu w ciągu 4–6 lat, co odpowiada rocznemu pobraniu 58,8–88,2 g  $\text{Cu}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ . W odniesieniu do ilości miedzi wprowadzonej do gleby z nawozem, jej pobranie z plonem w ciągu 6 lat stanowiło tylko ok. 1,5–1,7% tej dawki.

W niniejszej pracy wykazano również, iż pobrana ilość badanych mikroelementów z plonem w 10-letnim, a nawet dłuższym okresie po jednorazowym zastosowaniu mikronawozu, stanowiła niewielki procent zastosowanej dawki w mikronawozie. Ta ilość, pobrana z plonem roślinności łąkowej z doświadczeń tego okresu, wynosząca średnio rocznie ok. 7–10 t s.m.  $\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  (tab. 4), odniesiona do jednorazowo zastosowanych dawek stanowiła tylko ok.: 19–31% Mn, 10% Zn, 5% Cu. Pozostała ilość bądź to silnie związała się z glebą bądź rozprzyszyła w środowisku.



Rys. 6. Pobranie miedzi (Cu) z rocznym plonem roślinności trzech pokosów na doświadczeniu w Jankach – przed (1981–1990; a, b) i po nawożeniu miedzią (1991–2000; c, d; 1991–2007; e, f; 2001–2007; g, h) na tle wpływu wapnowania (Ca<sub>0</sub>, Ca<sub>1</sub>, Ca<sub>2</sub>) i nawożenia azotem (N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>)

W części I pracy wykazano, że działanie zastosowanych jednorazowo dawek mikroelementów, zwiększające ich zawartość w roślinności, było stosunkowo krótkotrwałe. Wynika z tego, że w celu zachowania prawidłowego dla bydła przedziału zawartości omawianych mikroelementów w roślinności należałoby, w zależności od właściwości fizykochemicznych i wilgotnościowych gleby, stosować nawożenie manganem co ok. 2–4 lata, cynkiem co 4–6 lat, a miedzią co 6–8 lat. W takim przypadku należy się liczyć ze znacznym wzbogaceniem gleby w te składniki, a nawet z możliwością jej zanieczyszczenia. Dodatkowym źródłem wzbogacania gleby łąk i pastwisk w mikroelementy są obecnie nawozy naturalne. Mineralne koncentraty paszowe, tzw. premiksy, stosowane poza paszą pochodzenia roślinnego w żywieniu bydła, są także źródłem mikroelementów, np. miedzi i cynku. Nadmiar tych metali, nieprzyswojony przez organizm zwierzęcia, wzbogaca odchody i w konsekwencji trafia do gleby [DE VRIES i in., 2002; KLOCEK, OSEK, 2001].

Biorąc pod uwagę dobrą jakość paszy łąkowej do żywienia przeżuwaczy, a także ochronę gleby przed nadmiernym wzbogaceniem w omawiane metale, nasuwa się pytanie, czy chcąc zachować dobrą jakość paszy należałoby nawozić glebę mikroelementami, czy stosować w tym celu nawożenie dolistne?

Dopuszczalne dawki Mn, Zn i Cu, przy nawożeniu dolistnym roztworami ich soli w postaci siarczanów tych metali wynoszą, w odniesieniu do czystego składnika:

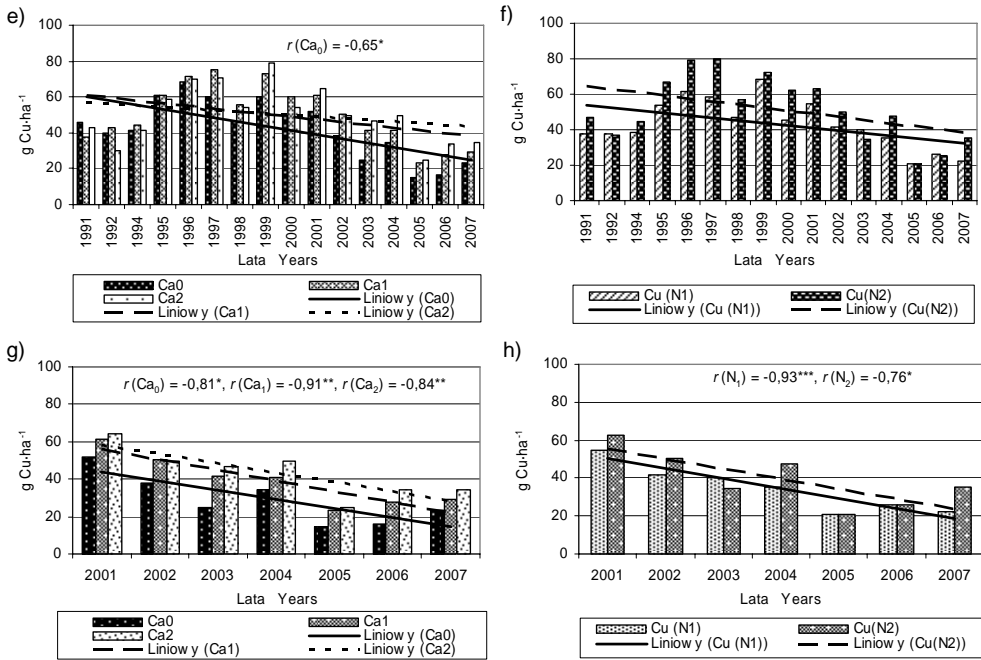
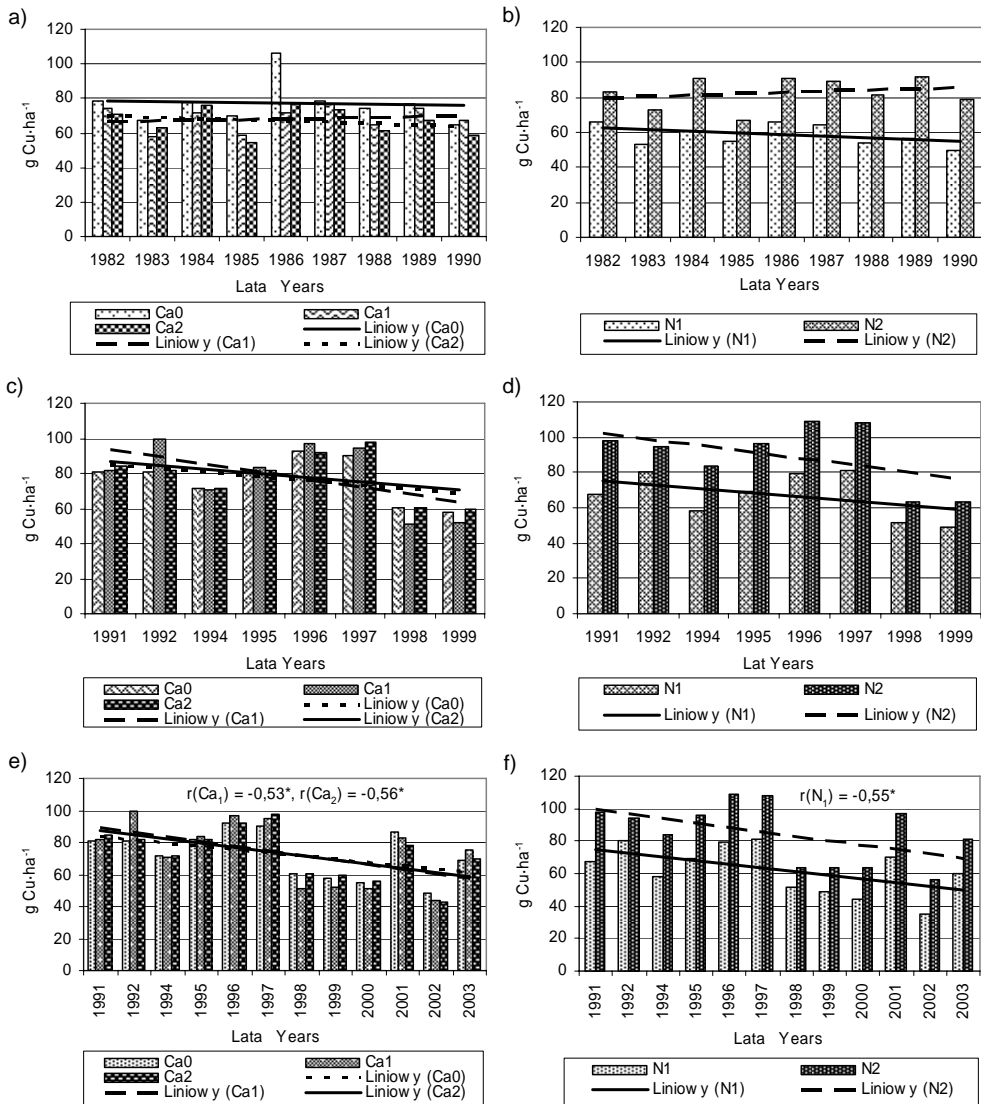


Fig. 6. Uptake of copper by the DM yield of three plant cuts in Janki experiment – before (1981–1990; a, b) and after fertilisation with copper (1991–2000; c, d; 1991–2007; e, f; 2001–2007; g, h) in relation to the liming effect ( $\text{Ca}_0$ ,  $\text{Ca}_1$ ,  $\text{Ca}_2$ ) and nitrogen fertilisation ( $\text{N}_1$ ,  $\text{N}_2$ )

Mn – 500 g·h<sup>-1</sup>, Zn – 310 g·h<sup>-1</sup>, Cu – 130 g·h<sup>-1</sup> (dawka na 300 l roztworu) [SKURZYŃSKI, 2009]. Wymienione dawki mikroelementów zastosowane jednorazowo w ciągu sezonu wegetacyjnego, są około 100-krotnie mniejsze od jednorazowych dawek zastosowanych doglebowo na doświadczeniach prezentowanych w niniejszej pracy. Nawozy płynne, stosowane do nawożenia dolistnego roślinności użytków zielonych zawierają, między innymi, mangan, cynk oraz miedź w formie chelatowej, łatwo dostępnej dla roślin. Przewidziane roczne dawki, po uwzględnieniu zawartości tych mikroelementów w nawozie płynnym oraz proponowanej jego objętości na hektar (2–3 dm<sup>3</sup>) i liczby oprysków w ciągu roku (2–3), wynoszą w przypadku stosowania PLONVITU P [2009]: Mn – 30 g·h<sup>-1</sup>, Zn – 30 g·h<sup>-1</sup>, Cu – 18 g·h<sup>-1</sup>, a w przypadku PLONVITU Z [2009]: Mn – 44 g·h<sup>-1</sup>, Zn – 40 g·h<sup>-1</sup>, Cu – 36 g·h<sup>-1</sup>. W badaniach KOPCIA i GONDKA [2004] dawki Mn, Zn i Cu, zastosowane w nawożeniu dolistnym MIKROVITEM-1 runi łąkowej na długoletnich doświadczeniach w Czarnym Potoku, po uwzględnieniu użytej objętości nawozu i krotności oprysku w ciągu roku wynosiły: Mn – 10,8 g·h<sup>-1</sup>, Zn – 7,2 g·h<sup>-1</sup>, Cu – 10,0 g·h<sup>-1</sup>. Wszystkie one są o rząd mniejsze w porównaniu z maksymalnymi dawkami przyjętymi w nawożeniu dolistnym roztworami soli technicznych, a nieporównywalnie małe w porównaniu z dawkami mikronawozów stosowanymi w nawożeniu gleby. W warunkach zastosowania powyżej podanych dawek mikroelementów ich pobra-



Rys. 7. Pobranie miedzi (Cu) z rocznym plonem roślinności trzech pokosów na doświadczeniu w Laszczkach – przed (1982–1990; a, b) i po nawożeniu miedzią (1991–1999; c, d; 1991–2003; e, f) na tle wpływu wapnowania ( $\text{Ca}_0$ ,  $\text{Ca}_1$   $\text{Ca}_2$ ) i nawożenia azotem ( $\text{N}_1$ ,  $\text{N}_2$ )

Fig. 7. Uptake of copper by the DM yield of three plant cuts in Laszczki experiment – before (1981–1990; a, b) and after fertilisation with copper (1991–2000; c, d; 1991–2007; e, f) in relation to the liming effect ( $\text{Ca}_0$ ,  $\text{Ca}_1$   $\text{Ca}_2$ ) and nitrogen fertilisation ( $\text{N}_1$ ,  $\text{N}_2$ )

nie z plonem z obiektów niewapnowanych, nawożonych NPK, w 10-letnim okresie (1995–2004) odniesione do średniego pobrania w ciągu roku, mieściło się w przedziale: Mn –  $110,7\text{--}128,6 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ , Zn –  $21,8\text{--}23,2 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ , Cu –  $3,5\text{--}4,2 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$  [GONDEK,



**Tabela 4.** Średnie roczne plony suchej masy roślinności łąkowej z doświadczeń w Jankach i Laszczkach przed zastosowaniem (1981–1990, 1982–1990) i po zastosowaniu mikronawozu (1991–2007, 1991–2003)

**Table 4.** Mean annual yields of dry matter meadow vegetation from Janki and Laszczki experiments before (1981–1990, 1982–1990) and after application of micro-fertilisers (1991–2007, 1991–2003)

Wartości Values	Plon s.m., t·ha <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup> DM yield, t·ha <sup>-1</sup> ·year <sup>-1</sup>			
	Janki		Laszczki	
	1981–1990	1991–2007	1982–1990	1991–2003
Średnia Mean	8,1	8,6	7,8	9,2
SD	0,77	0,8	1,6	1,1

Objaśnienie: SD – odchylenie standardowe.

Explanation: SD – standard deviation.

KOPEĆ, 2008]. Z porównania średnich ilości mikroelementów pobieranych przez roślinność z rocznym plonem oraz stosowanych w nawożeniu dolistnym wynika, że tylko w części pokrywają one potrzeby roślinności.

Dokarmianie dolistne roślinności roztworami wodnymi oraz częstotliwość zabiegów niezbędna w tym sposobie nawożenia, wymagają znacznych nakładów energii (duży pobór wody, wykonanie oprysku itp.), na co zwracają uwagę, między innymi, HALL i in. [2002]. Autorzy, dyskutując o skuteczności i opłacalności nawożenia dolistnego, w porównaniu z tradycyjnie stosowanymi praktykami, takimi jak wapnowanie i nawożenie lucerny, w odniesieniu do wielkości i jakości plonu wykazali, iż przy zachowaniu tych samych warunków pH gleby uzyskane plony oraz jakość paszy nie rekompensowały znacznie większych kosztów nawożenia dolistnego. Problem skuteczności dolistnego nawożenia lucerny cynkiem (0,34 i 0,68 kg·h<sup>-1</sup>) w porównaniu z nawożeniem tym składnikiem gleby (4,07 kg·h<sup>-1</sup>) podjęli już STOUT i in. [1987]. Autorzy uważają, że nawożenie dolistne nie zapewnia odpowiedniego poziomu cynku w paszy przeznaczonej dla krów mlecznych, mimo wykazanego istotnego zwiększenia plonu lucerny.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Dokonana ocena pobrania manganu, cynku i miedzi z plonem roślinności oraz jego zmian na przykładzie doświadczeń łąkowych w ponad 20-letnich badaniach, w warunkach gleby nienawożonej tymi mikroelementami oraz po jednorazowym zastosowaniu mikronawozu, wykazała odmiennosc badanego zjawiska w dwóch porównywanych okresach badań. Porównanie, wykonane na podstawie wyników własnych badań oraz literatury z zakresu tej problematyki, korzyści z uzupełniania niedoborów omawianych mikroelementów poprzez nawożenie gleby oraz dolistne dokarmianie roślinności bądź ich braku, pozwoliło przedyskutować efektywność wymienionych zabiegów. Zagadnienia te rozważono w aspekcie jakości paszy łą-

kowej mając jednocześnie na uwadze ochronę gleby przed jej zanieczyszczeniem badanymi metalami, co pozwoliło przedstawić poniższe wnioski.

1. Pobranie badanych mikroelementów przez roślinność łąkową w okresie przed zastosowaniem mikronawozów wykazywało pewną stabilność na obiektach nawozowych, którym odpowiadał właściwy dla nich odczyn gleby. Jedynie na ubogiej w  $C_{org}$  i słabo zbuforowanej glebie pobranie Mn istotnie zwiększało się wraz upływem lat, co było skutkiem postępującej reacydyfikacji gleby obiektów wapnowanych.

2. Jednorazowe nawożenie gleby manganem ( $50 \text{ kg Mn}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), cynkiem ( $30 \text{ kg Zn}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) i miedzią ( $10 \text{ kg Cu}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) zwiększyło ich pobranie z plonem, lecz działanie to było stosunkowo krótkotrwałe (ok. 2–6 lat) i zależne od właściwości gleby, a zwłaszcza jej zasobności w materię organiczną oraz wynikało z różnic we właściwościach chemicznych pierwiastków. To pobranie zmniejszało się w wyniku następczego wpływu wapnowania gleby, natomiast większa dawka azotu sprzyjała zwiększeniu pobrania mikroelementów, głównie w wyniku wzrostu plonu roślinności.

3. Ze względu na możliwość nadmiernego wzbogacenia gleby w metale, należałoby preferować dolistne dokarmianie roślinności łąkowej mikroelementami, lecz aby uzyskać oczekiwane, pozytywne rezultaty tego zabiegu, powinno się stosować tylko taki mikroelement, który występuje w niedoborze zarówno w roślinności, jak i w glebie.

4. W przypadku gleby zasobnej w mikroelementy niewielkie ich dawki w formie chelatowej w nawożeniu dolistnym uzupełniają ewentualny niedobór tych składników w roślinności bez ryzyka nadmiernego wzbogacenia gleby. W warunkach znacznego niedoboru któregoś z mikroelementów w glebie, proponowane dawki w nawożeniu dolistnym, nawet roztworami rozpuszczalnych soli, mogą być niewystarczające do uzyskania pożądanej ich zawartości w paszy łąkowej.

5. Optymalny dla użytków zielonych odczyn gleby jest jednym z podstawowych warunków właściwego gospodarowania glebowymi zasobami składników pokarmowych roślinności łąkowej, w tym również mikroelementów.

## LITERATURA

- COM(2006)231 final. Brussels 22.09.2006. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Thematic Strategy for Soil Protection.
- COM(2006)232 final Brussels, 22.09.2006. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC.
- COPPENET M., SIMON J.C., 1984. Sur les teneur en élément minéraux des graminées fouragères. Possibilités d'amélioration génétique. Fourrage 97 s. 17–33.
- DE VRIES W., RÖMKENS P.F.A.M., VAN LEEUVEN T., BRONSWIJK J.J.B., 2002. Heavy metals. W: Agriculture, hydrology and water quality. Wallingford CABI Publ. CAB Intern. s. 107–132.

- DOBOSZYŃSKI L., RYBAK K., ZIEMLEWSKA M., 1976. Wpływ wieloletniego nawożenia pastwisk nawozami mineralnymi na roślinność i glebę. W: Skutki wieloletniego stosowania nawozów. Cz. 1. Symp. nauk. Puławy 16–17 XI 1976. Puławy: IUNG s. 125–132.
- DOMAŃSKI P. J., 2009. Nawożenie łąk i pastwisk. <http://www.ihar.edu.pl/nawozenie.php>
- FALKOWSKI M., KUKULKA I., 1978. Mineralne żywienie roślin i nawożenie W: Łąkarstwo i gospodarka łąkowa. Prac. zbior. Red. M. Falkowski. Warszawa: PWRiL s. 300–421.
- GONDEK K., KOPEĆ M., 2008. Studies on the contents and amounts of microelements taken up by meadow sward in condition of long-term and diversified mineral fertilization as to the sward fodder value. Polish Journal of Natural Sciences 23(1) s. 1–15.
- HALL M.H., STOUT R.C., SMILES W.S., 2002. Effect of foliar fertilizers and growth regulators on Alfalfa yield and quality. Crop Management. Plant Management Network 29 April 2002 ss. 5.
- JANKOWSKA-HUFLEJT H., 2009. Ocena wpływu nawożenia i dokarmiania dolistnego na wartość paszową runi łąkowej w świetle doświadczeń łąkowych. Prezentacja na IV Konferencji naukowej pt. „Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie”, Falenty 25–26.11.2009.
- KLOCEK B., OSEK M., 2001. Mieszanki mineralne, preparaty witaminowe i witaminowo-mineralne. W: Żywienie zwierząt i paszoznawstwo. Pr. zbior. Red. D. Jamroz, W. Podkówka, J. Chachułowa. Warszawa: PWN s. 359–371.
- KOPEĆ M., GONDEK K. 2004., Microelement concentration in sward and soil of long-term fertilizers experiment (Czarny Potok). Acta Agrophysica 4(1) s. 51–58.
- KUCZYŃSKA I., 1992. Długotrwałość oddziaływania nawożenia użytków zielonych miedzią, manganem i cynkiem na plon i skład mineralny roślin i gleby. Rozpr. Habil. 1992 Bydgoszcz – Falenty: IMUZ ss. 93.
- PLONVIT P, 2009. [http://www.intermag.pl/pl/plonvit\\_p.htm](http://www.intermag.pl/pl/plonvit_p.htm)
- PLONVIT Z, 2009. [http://www.intermag.pl/pl/plonvit\\_z.htm](http://www.intermag.pl/pl/plonvit_z.htm)
- SKURZYŃSKI A., 2009. Dolistne dokarmianie roślin Kujawsko-Pomorski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Minikowie, Oddział w Przysieku. Biuletyn Internetowy. [http://www.kpodr.pl/roslinna/inne/dolistne\\_dokarmianie\\_roslin.php](http://www.kpodr.pl/roslinna/inne/dolistne_dokarmianie_roslin.php)
- SAPEK B., 1993. Studia nad wapnowaniem trwałego użytku zielonego na glebie mineralnej. Rozpr. Habil. Falenty: IMUZ ss. 93.
- SAPEK B., 2006. Przedmowa. Woda Środowisko Obszary Wiejskie 6 z. specj. (17) s. 5–13.
- SAPEK B., 2010. Mikroelementy w roślinności łąkowej nawożonej azotem w wieloleciu przed i po jednorazowym zastosowaniu mikronawozów na tle następczego wpływu wapnowania. Cz. 1. Zmiany zawartości manganu, cynku i miedzi oraz ich wpływ na plony. Woda Środowisko Obszary Wiejskie (w niniejszym zeszycie) ss. 179.
- STOUT W.L., JUNG G.A., SHAFFER J.A., 1987. Effect of foliar and soil applied zinc on soil test levels, herbage composition, and yields of alfalfa. Communication in Soil Science and Plant Analysis vol. 18 7 s. 743–752.
- WALCZYNA J., OKRUSZKO H., 1972. Aktualny stan badań w Polsce nad zawartością mikroelementów w roślinności użytków zielonych oraz zamierzenia i potrzeby w tym zakresie na najbliższą przyszłość. Roczniki Gleboznawcze t. 23 z. 2 s. 18–194.

Barbara SAPEK

**MICROELEMENTS IN MEADOW VEGETATION LONG FERTILISED WITH NITROGEN  
BEFORE AND AFTER SINGLE APPLICATION OF MICRO-FERTILISERS  
ON THE BACKGROUND OF THE SECONDARY EFFECT OF LIMING  
PART II. CHANGES IN THE UPTAKE OF MANGANESE, ZINC AND COPPER WITH YIELD**

*Key words: fertilisation, long-term experiment, microelements, micro-fertiliser, uptake with yield, vegetation*

S u m m a r y

The uptake of Mn, Zn and Cu by plant yield and its changes in meadow experiments during 20-years of study was estimated under conditions of no fertilisation with micronutrients and under the effect of single micronutrient application. The problem was considered in relation to nitrogen fertilisation and the secondary effect of liming in view of the way of micronutrient application on grassland that would simultaneously provide soil protection and good quality of meadow fodder. Before microelements application, their uptake by plant yield was rather stable in distinguished fertilisation objects. The re-acidification of soil from the objects previously limed enhanced Mn uptake with time. The single soil fertilisation with microelements at a rate of: 50 kg Mn·ha<sup>-1</sup>, 30 kg Zn·ha<sup>-1</sup> and 10 kg Cu·ha<sup>-1</sup> generally increased their uptake, but this effect was relatively of short duration and depended on soil properties, particularly on organic matter supply. It depended also on the analysed microelement. The uptake of microelements decreased in the secondary effect of soil liming. On the other hand, the uptake increased with increasing doses of nitrogen, mainly as an effect of larger plant yield. Supplementing microelement deficiency through soil fertilisation *versus* foliar nutrition of plants was also considered. Foliar application appeared to be the preferred one. However, under high deficiency of any microelement in the soil, proposed doses applied in foliar fertilisation would be too low to obtain the desired quality of meadow fodder. Proper management of microelement resources in soil requires maintenance of pH optimal for meadow soils.

---

Recenzenci:

*prof. dr hab. Zdzisław Ciećko*

*prof. dr hab. Kazimierz Mazur*

Praca wpłynęła do Redakcji 31.03.2010 r.