

**MIKROELEMENTY W ROŚLINNOŚCI ŁĄKOWEJ  
NAWOŻONEJ AZOTEM W WIELOLECIU  
PRZED I PO JEDNORAZOWYM ZASTOSOWANIU  
MIKRONAWOZÓW  
NA TLE NASTĘPCZEGO WPLYWU WAPNOWANIA  
CZEŚĆ I. ZMIANY ZAWARTOŚCI MANGANU, CYNKU I MIEDZI  
ORAZ ICH WPLYW NA PLONY**

**Barbara SAPEK**

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zakład Ochrony Jakości Wody

*Słowa kluczowe: długoletnie doświadczenia, mikroelementy, mikronawozy, nawożenie, roślinność łąkowa, zawartość*

**Streszczenie**

Oceniono zawartość manganu, cynku i miedzi oraz jej zmiany w roślinności łąkowej przed i po jednorazowym zastosowaniu mikronawozów. Oceny dokonano na podstawie średnich wartości z wielolecia oraz w świetle rocznych zmian ich zawartości w ponad 20-letnim okresie badań. Zagadnienie rozważono w aspekcie jakości paszy łąkowej oraz wpływu zawartości mikroelementów na wielkość plonów, na tle corocznego nawożenia azotem oraz następczego wpływu wapnowania. Wykazano, iż jednorazowe nawożenie gleby Mn, Zn i Cu skutkowało zwiększeniem ich zawartości w roślinności, a w wieloleciu znaczną jej zmiennością, zwłaszcza w odniesieniu do Mn. Średnia z wielolecia zawartość badanych mikroelementów po zastosowaniu mikronawozu wynikała głównie z jej zwiększenia w pierwszych kilku latach. Zachowanie prawidłowej, ze względu na żywienie przeżuwaczy, zawartości omawianych mikroelementów wymagałoby, w zależności od właściwości gleby oraz pierwiastka, stosowania mikronawozów co 2–6 lat. W takim przypadku należy się liczyć ze znacznym wzbogaceniem, a nawet zanieczyszczeniem gleby tymi metalami. Plonotwórczego działania nawożenia gleby łąkowej mikroelementami można się spodziewać jedynie w warunkach ich

znacznego niedoboru w roślinności. Wykazano, że ocena przebiegu zjawisk przyrodniczych zależy od czasu trwania ich obserwacji, a długoletnie badania empiryczne w większym stopniu przybliżają ich rzeczywisty obraz.

## WSTĘP

Przebieg zjawisk przyrodniczych może zmieniać się w czasie, a jego ocena zależy od czasu trwania badań oraz obserwacji. Dlatego długoletnie badania empiryczne w większym stopniu przybliżają rzeczywisty obraz tych zjawisk. BOUWMAN i in. [2002] badając globalne zakwaszenie i eutrofizację ekosystemów lądowych, a CHAMBERS i GARWOOD [1998] efektywność wapnowania użytków zielonych, wykazali potrzebę długoletnich badań doświadczalnych w celu identyfikacji oraz oceny rzeczywistego stanu przedmiotu badań.

Wynika z tego, że długoletnie doświadczenia łąkowe, umożliwiają pełniejsze poznanie zmian oraz ocenę zawartości i pobrania składników pokarmowych przez roślinność łąkową w zróżnicowanych warunkach glebowo-wodnych i nawożenia. Potwierdzają to, między innymi, wyniki 37-letnich badań HEJCMANA i in. [2007], którzy wykazali bardziej długotrwały wpływ nawożenia ekosystemów łąkowych niż to się powszechnie sądzi na podstawie krótkotrwałych obserwacji. Oprócz podstawowych składników w żywieniu roślin, takich jak azot, fosfor, potas, a także wapń i magnez, mikroelementy – pierwiastki występujące w ilościach śladowych – są niezbędne do prawidłowego wzrostu i rozwoju organizmów żywych, w tym roślinności łąkowej [KABATA-PENDIAS, PENDIAS, 1979; RUSZKOWSKA, 1976]. Wśród nich, nieodzowne zarówno dla roślin łąkowych, jak i przeżuwaczy skarmianych paszą łąkową, są między innymi, mangan, cynk i miedź [GORLACH, MAZUR, 2002; KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1979]. Mając na uwadze zasobność gleby oraz jakość paszy zielonej, w Polsce w latach 70. prowadzono wieloletnie doświadczenia łąkowe nad wpływem nawożenia mikroelementami gleb torfowych na ich zawartość w glebie i roślinności łąkowej [KUCZYŃSKA, 1992; WALCZYNA i in. 1975; WALCZYNA, OKRUSZKO, 1972]. Niektóre z nich są kontynuowane na glebach mineralnych [KOPEĆ, GONDEK, 2004; GONDEK, KOPEĆ, 2008]. Do badań zasobności gleby i runi łąkowej w mikroelementy wykorzystano również, założone w latach 1981/82, długoletnie doświadczenia łąkowe nad następczym wpływem wapnowania użytku zielonego [BARSZCZEWSKI i in., 2000; SAPEK, 1986; 1993].

Ochrona gleby – nieodnawialnego zasobu naturalnego – przed zanieczyszczeniem pochodzącym z różnych źródeł, również metalami ciężkimi, nabiera obecnie szczególnego znaczenia [COM(2006)231, 2006; COM(2006)232, 2006]. W tym kontekście nasuwa się pytanie, czy i w jakich warunkach nawożenie użytków zielonych mikroelementami jest niezbędne do produkcji dobrej jakości paszy łąkowej. Reakcja na nawożenie mikroelementami, zarówno na ich zawartość w roślinności łąkowej, jak i na wielkość plonu jest złożona i zależy od warunków glebowo-wodnych, dawki mikronawozu, nawożenia podstawowego oraz składu botanicznego

runi łąkowej [FORBES, GELMAN, 2006; GOVASMAR in., 2005a; GOVASMAR i in., 2005b; KUCZYŃSKA, 1992; WALCZYNA i in., 1975]. Próba odpowiedzi na postawione pytanie wymagała rozpatrzenia wyników oznaczeń zawartości oraz pobrania manganu, cynku i miedzi z plonem roślinności łąkowej, uwzględniającego przebieg zmian w wieloleciu, w tym również po nawożeniu gleby tymi składnikami.

Celem części I pracy jest ocena zawartości manganu, cynku i miedzi w roślinności łąkowej na podstawie średnich wartości z wielolecia oraz średnich rocznych jej zmian przed i po jednorazowym zastosowaniu mikronawozów w ponad 20-letnim okresie badań. Zagadnienie rozważano w aspekcie jakości paszy łąkowej oraz wpływu zawartości mikroelementów na wielkość plonów, na tle nawożenia azotem i następczego wpływu wapnowania.

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Postawione w pracy problemy rozpatrzono na przykładzie wyników dwóch ściślych, 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). Przedstawione w pracy wyniki badań nie obejmują tych z 1993 r., ponieważ nie zachowały się. Gleby doświadczeń różniły się zawartością węgla organicznego, części ilastych, mikroelementów oraz uwilgotnieniem (tab. 1).

**Tabela 1.** Wybrane właściwości fizykochemiczne gleb z doświadczeń łąkowych

**Table 1.** Selected physical and chemical properties of soils from grassland experiments

| Doświadczenie<br>Experiment | pH <sub>KCl</sub> | Zawartość<br>C <sub>org</sub><br>Content of<br>C <sub>org</sub><br>g·kg <sup>-1</sup> | Zawartość części<br><0,02 mm<br>Content of<br>particles <0.02 mm<br>% | Uwilgotnienie<br>% obj.<br>Humidity<br>% vol. | Zawartość ogółem<br>Total content<br>mg·kg <sup>-1</sup> |      |      |
|-----------------------------|-------------------|---|---|---|--|------|------|
|                             |                   |   |   |   | Mn   | Zn   | Cu   |
| Janki                       | 4,5               | 19,0  | 18,4  | 22,1  | 198  | 20,6 | 5,4  |
| Laszczki                    | 4,3               | 38,0  | 22,4  | 26,7  | 178  | 48,0 | 18,2 |

Doświadczenia założono w latach 1981–1982 metodą bloków losowanych w czterech powtórzeniach. Na każdym z nich wydzielono 6 obiektów nawozowych, nawożonych stałą dawką fosforu (34,9 kg P·ha<sup>-1</sup>) i potasu (125 kg K·ha<sup>-1</sup>):

Ca<sub>0</sub> N<sub>1</sub>, Ca<sub>1</sub> N<sub>1</sub>, Ca<sub>2</sub> N<sub>1</sub>,

Ca<sub>0</sub> N<sub>2</sub>, Ca<sub>1</sub> N<sub>2</sub>, Ca<sub>2</sub> N<sub>2</sub>,

gdzie: Ca<sub>0</sub> – obiekty niewapnowane, Ca<sub>1</sub>, Ca<sub>2</sub>, – obiekty wapnowane pojedynczą i podwójną dawką wapna, obliczoną według kryterium kwasowości hydrolytycznej

1Hh i 2Hh, N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub> – obiekty nawożone azotem w formie saletry amonowej w ilości 120 i 240 kg N·ha<sup>-1</sup>, w trzech dawkach pod każdy pokos.

Jesienią 1990 r. na obu doświadczeniach zastosowano jednorazowo nawożenie mikroelementami: manganem, cynkiem i miedzią – doświadczenie J, manganem i miedzią – doświadczenie L. Zastosowano mikronawozy w następujących dawkach: Mn – 50 kg·ha<sup>-1</sup>, Zn – 30 kg·ha<sup>-1</sup>, Cu – 10 kg·ha<sup>-1</sup> w postaci siarczanów tych metali (MnSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O) w formie roztworu wodnego, oddzielnie na każde pole doświadczenia, bez pasów ochronnych. Od 2000 r. doświadczenia zaprzestano nawozić fosforem. Z uwagi na zmianę programu doświadczenia L, zaniechano na nim zbioru runi począwszy od 2004 r. Doświadczenia, prowadzone według opisanego powyżej schematu, zakończono w 2007 r. Szczegółowe ich omówienie zawiera opracowanie SAPEK [2006].

Do oceny zawartości badanych mikroelementów i ich zmian w roślinności przed i po zastosowaniu mikronawozów wykorzystano wyniki oznaczeń tych składników w próbkach pochodzących: z obiektów nawozowych niewapnowanych (Ca<sub>0</sub>) i jednorazowo wapnowanych na początku doświadczeń węglanową formą wapna, dawką według 1Hh (Ca<sub>1</sub>) i 2 Hh (Ca<sub>2</sub>) – średnie wartości z dwóch poziomów nawożenia azotem oraz z obiektów nawożonych azotem w ilości 120 i 240 kg N·ha<sup>-1</sup> (N<sub>1</sub> i N<sub>2</sub>) – średnie wartości z obiektów niewapnowanych i wapnowanych.

Należy zaznaczyć, że wpływ jednorazowego wapnowania na odczyn gleby utrzymywał się w badanym wieloleciu, co ilustruje pH<sub>KCl</sub> gleby z obiektów nawozowych doświadczeń (tab. 2).

Przedmiotem opracowania była ocena zmian badanych wielkości w okresie przed i po jednorazowym zastosowaniu mikronawozów. Zawartość badanych mikroelementów i jej dynamikę w wieloleciu analizowano i oceniono na przykładzie

**Tabela 2.** Średnie wartości pH<sub>KCl</sub> 0–10 cm warstwy gleby z obiektów nawozowych doświadczeń w Jankach (lata 1982–2007) i Laszczkach (lata 1983–2003)

**Table 2.** Mean pH<sub>KCl</sub> values in 0–10 cm soil layer from fertilisation objects of experiments in Janki (1982–2007) and Laszczki (1983–2003)

| Obiekt nawozowy<br>Fertilisation object | pH <sub>KCl</sub> |      |           |      |
|---|-------------------|------|-----------|------|
|   | Janki             |      | Laszczki  |      |
|   | 1982–2007         | 2007 | 1983–2003 | 2003 |
| Ca <sub>0</sub>                         | 4,1               | 3,5  | 4,1       | 3,9  |
| Ca <sub>1</sub>                         | 5,3               | 3,7  | 5,6       | 4,9  |
| Ca <sub>2</sub>                         | 6,1               | 4,2  | 6,6       | 5,8  |
| N <sub>1</sub>                          | 5,3               | 4,1  | 5,6       | 5,4  |
| N <sub>2</sub>                          | 5,0               | 3,5  | 5,3       | 4,4  |

Objaśnienia: 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>.

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>.

w roślinności I pokosu. W ocenie współzależności między zawartością Mn, Zn i Cu a wielkością plonów wykorzystano zarówno plony I pokosu, jak i sumy rocznej trzech pokosów. Obliczono średnią zawartość badanych mikroelementów oraz współczynnik zmienności (W%) w wydzielonych okresach przed i po zastosowaniu mikronawozów. Zmiany tych zawartości wraz z upływem lat oraz ich współzależność z wielkością plonów oceniono za pomocą współczynnika regresji liniowej Pearsona.

## WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

### ZAWARTOŚĆ MIKROELEMENTÓW I JEJ ZMIANY W ROŚLINNOŚCI W WIELOLECIU

#### Mangan

Średnia zawartość manganu w roślinności z dwóch omawianych doświadczeń w wydzielonych okresach wielolecia, zarówno przed, jak i po zastosowaniu mikronawozu, znacznie się różniła. Roślinność z doświadczenia J, na glebie uboższej w części ilaste, a zwłaszcza w  $C_{org}$  i o słabszej zdolności buforowej, cechowała się większą zawartością Mn, w porównaniu z doświadczeniem L (tab. 1 i 3) [SAPEK, 1993]. Przedział zawartości manganu w roślinności łąkowej, prawidłowy ze względu na żywienie przeżuwaczy, wynosi 50–100 mg Mn·kg<sup>-1</sup> s.m. [COPPENET, SIMON, 1984; FALKOWSKI i in., 2000; Normy..., 1993; SAPEK, 1979]. Przyjmując te wartości, roślinność doświadczenia J była dobrze zaopatrzona w ten mikroelement jeszcze przed zastosowaniem mikronawozu, nawet po wapnowaniu gleby większą dawką Ca<sub>2</sub>. W tych warunkach roślinność doświadczenia L wykazywała już częściowo niedobory Mn. Średnia zawartość Mn z tego okresu badań (lata 1981/82–1990) wskazywała na pewną stabilność, większą na doświadczeniu L (tab. 3). Nawożenie gleby manganem spowodowało prawie dwukrotne zwiększenie średniej zawartości Mn w roślinności z obiektów wapnowanych (Ca<sub>1</sub> i Ca<sub>2</sub>) na doświadczeniu L (tab. 3). Zawartość Mn na tym doświadczeniu, w podobnym do poprzedniego okresie badań (1991–2000), odpowiadała kryterium potrzeb żywieniowych przeżuwaczy, a na doświadczeniu J wykazywała w tym okresie znaczną zmienność (W%). W dalszych latach badań (1991–2007: J i 1991–2003: L) na doświadczeniu L średnia zawartość Mn była nadal prawidłowa, mimo jej zmniejszenia na obu doświadczeniach. Wpływ jednorazowego wapnowania na odczyn gleby, zmniejszający zawartość Mn w roślinności, obserwowano w ciągu całego wielolecia (tab. 2 i 3). Wpływ większej dawki azotu (N<sub>2</sub>), zwiększający zawartość Mn w roślinności, stwierdzono przede wszystkim na doświadczeniu L, zwłaszcza przed zastosowaniem mikronawozu (tab. 3).

Dynamika zawartości manganu w roślinności z doświadczeń w wieloleciu, na tle nawożenia azotem oraz następczego wpływu wapnowania, dotyczy lat przed nawożeniem manganem (doświadczenia J i L – rys. 1 i 2a, b) oraz po zastosowaniu

**Tabela 3.** Średnia zawartość manganu (Mn) w roślinności łąkowej I pokosu z obiektów nawozowych doświadczonych przed i po zastosowaniu mikronawozu<sup>1)</sup> w Jankach (1981–1990, 1991–2007) i Laszczkach (1982–1990, 1991–2003)

**Table 3.** Mean content of manganese (Mn) in the first cut from fertilisation objects of experiments before and after micro-fertiliser application<sup>1)</sup> in Janki (1981–1990, 1991–2007) and Laszczki (1982–1990, 1991–2003)

| Okres badawczy<br>Study period                      | Lata<br>Years | Zawartość Mn w roślinności z obiektów nawozowych, mg·kg <sup>-1</sup> s.m.<br>Content of Mn in vegetation from fertilisation objects, mg·kg <sup>-1</sup> DM |    |                 |    |                 |    |                |    |                |    |   |    |
|---|---------------|--|----|-----------------|----|-----------------|----|----------------|----|----------------|----|---|----|
|   |               | Ca <sub>0</sub>  |    | Ca <sub>1</sub> |    | Ca <sub>2</sub> |    | N <sub>1</sub> |    | N <sub>2</sub> |    | średnio <sup>2)</sup><br>mean <sup>2)</sup> |    |
|   |               | x  | W% | x               | W% | x               | W% | x              | W% | x              | W% | x   | W% |
|   |               | Janki  |    |                 |    |                 |    |                |    |                |    |   |    |
| Przed nawożeniem Mn<br>Before fertilisation with Mn | 1981–1990     | 159  | 22 | 105             | 36 | 75              | 42 | 112            | 23 | 113            | 29 | 113   | 26 |
|   | 1991–2000     | 183  | 40 | 164             | 41 | 135             | 45 | 155            | 42 | 166            | 41 | 161   | 41 |
|   | 1991–2007     | 173  | 36 | 154             | 40 | 136             | 36 | 153            | 23 | 155            | 35 | 154   | 35 |
| Laszczki  |               |  |    |                 |    |                 |    |                |    |                |    |   |    |
| Przed nawożeniem Mn<br>Before fertilisation with Mn | 1982–1990     | 85   | 21 | 50              | 21 | 37              | 27 | 56             | 18 | 58             | 15 | 57  | 18 |
|   | 1991–2000     | 106  | 56 | 89              | 48 | 73              | 46 | 85             | 46 | 94             | 54 | 89  | 46 |
|   | 1991–2003     | 75   | 26 | 72              | 27 | 58              | 24 | 66             | 26 | 70             | 25 | 68  | 25 |

<sup>1)</sup> Jednorazowa dawka zastosowana jesienią 1990 r.: Mn – 50 kg·ha<sup>-1</sup>.

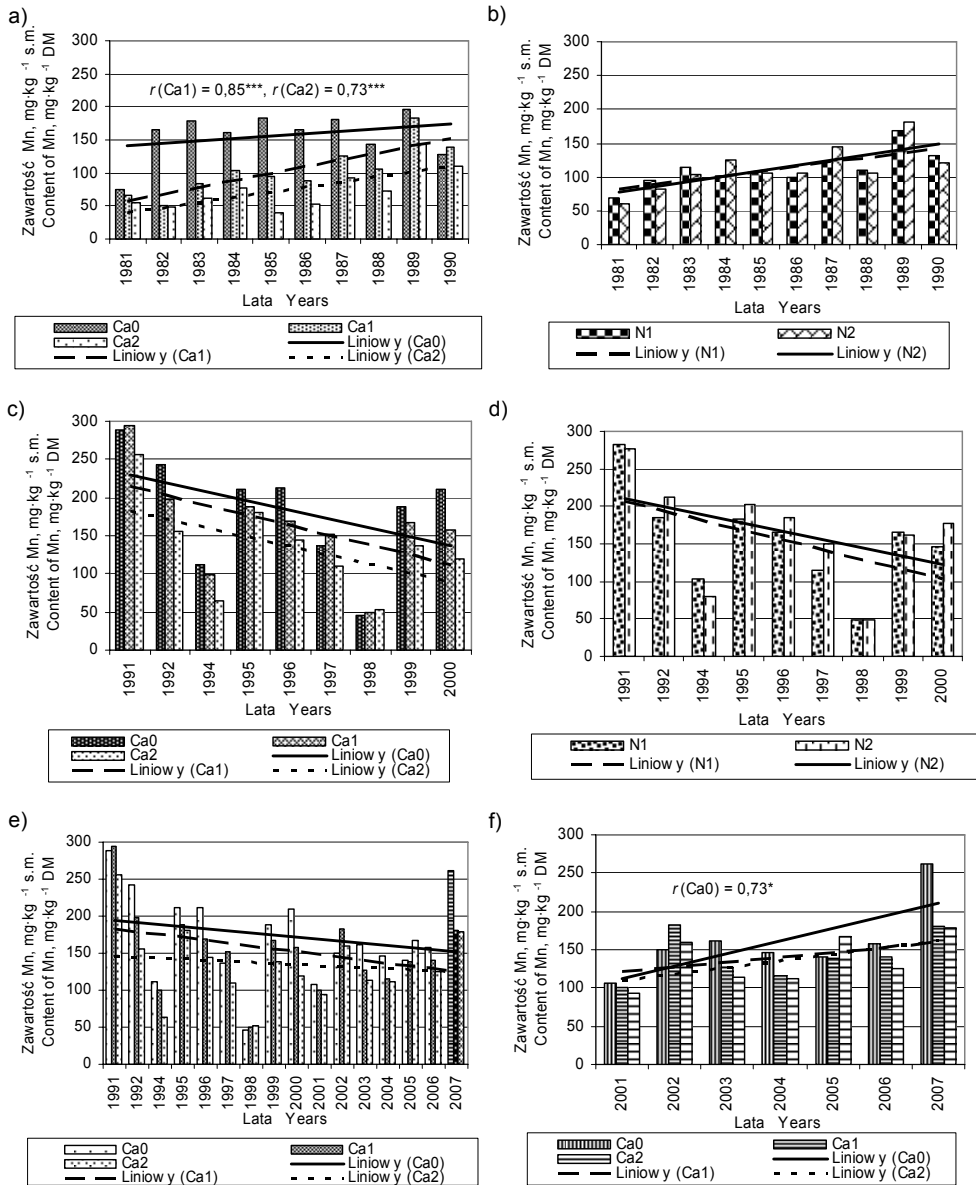
<sup>2)</sup> Średnia zawartość w I pokosie z wszystkich obiektów nawozowych doświadczonych.

Objaśnienia: x – średnia, W% – współczynnik zmienności, pozostałe objaśnienia jak pod tabelą 2.

<sup>1)</sup> Single dose applied in autumn 1990: Mn – 50 kg·ha<sup>-1</sup>.

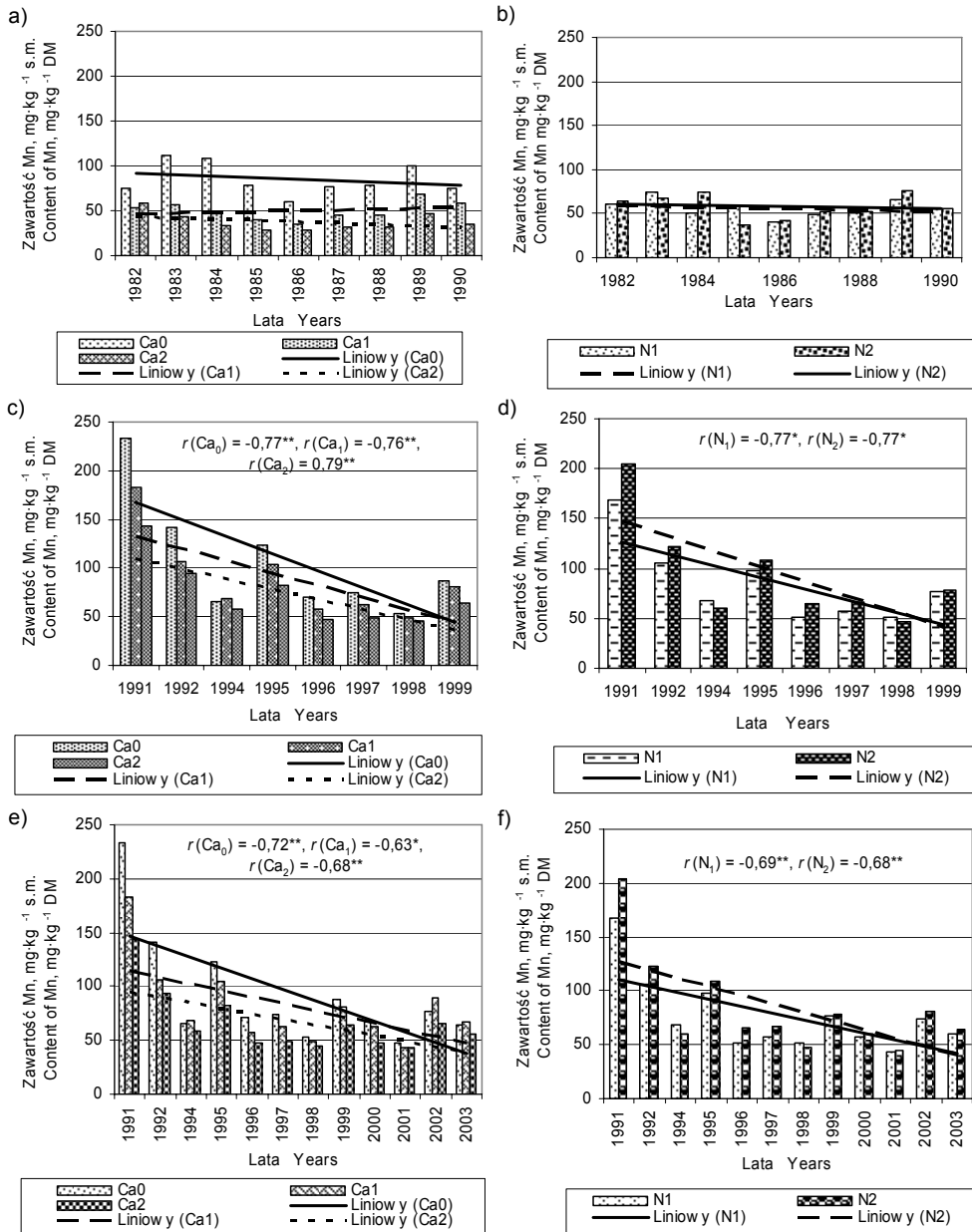
<sup>2)</sup> Mean content in the first cut from all fertilisation objects of experiment.

Explanations: x – mean, W% – coefficient of variability, other as in Table 2.



Rys. 1. Zawartość manganu (Mn) w roślinności I pokosu na doświadczeniu w Jankach – przed (1981–1990; a, b) i po nawożeniu manganem (1991–2000; c, d; 1991–2007; e, f) 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>)

Fig. 1. Manganese content in the I cut of vegetation in Janki experiment – before (1981–1990; a, b) and after fertilisation with manganese (1991–2000; c, d; 1991–2007; e, f) in comparison with liming (Ca<sub>0</sub>, Ca<sub>1</sub>, Ca<sub>2</sub>) and nitrogen fertilisation (N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>)



Rys. 2. Zawartość manganu (Mn) w roślinności I pokosu 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 ( $\text{Ca}_0$ ,  $\text{Ca}_1$ ,  $\text{Ca}_2$ ) i nawożenia azotem ( $\text{N}_1$ ,  $\text{N}_2$ )

Fig. 2. Manganese content in the I cut of vegetation in Laszczki experiment – before (1982–1990; a, b) and after fertilisation with manganese (1991–1999; c, d; 1991–2003; e, f) in comparison with liming ( $\text{Ca}_0$ ,  $\text{Ca}_1$ ,  $\text{Ca}_2$ ) and nitrogen fertilisation ( $\text{N}_1$ ,  $\text{N}_2$ )



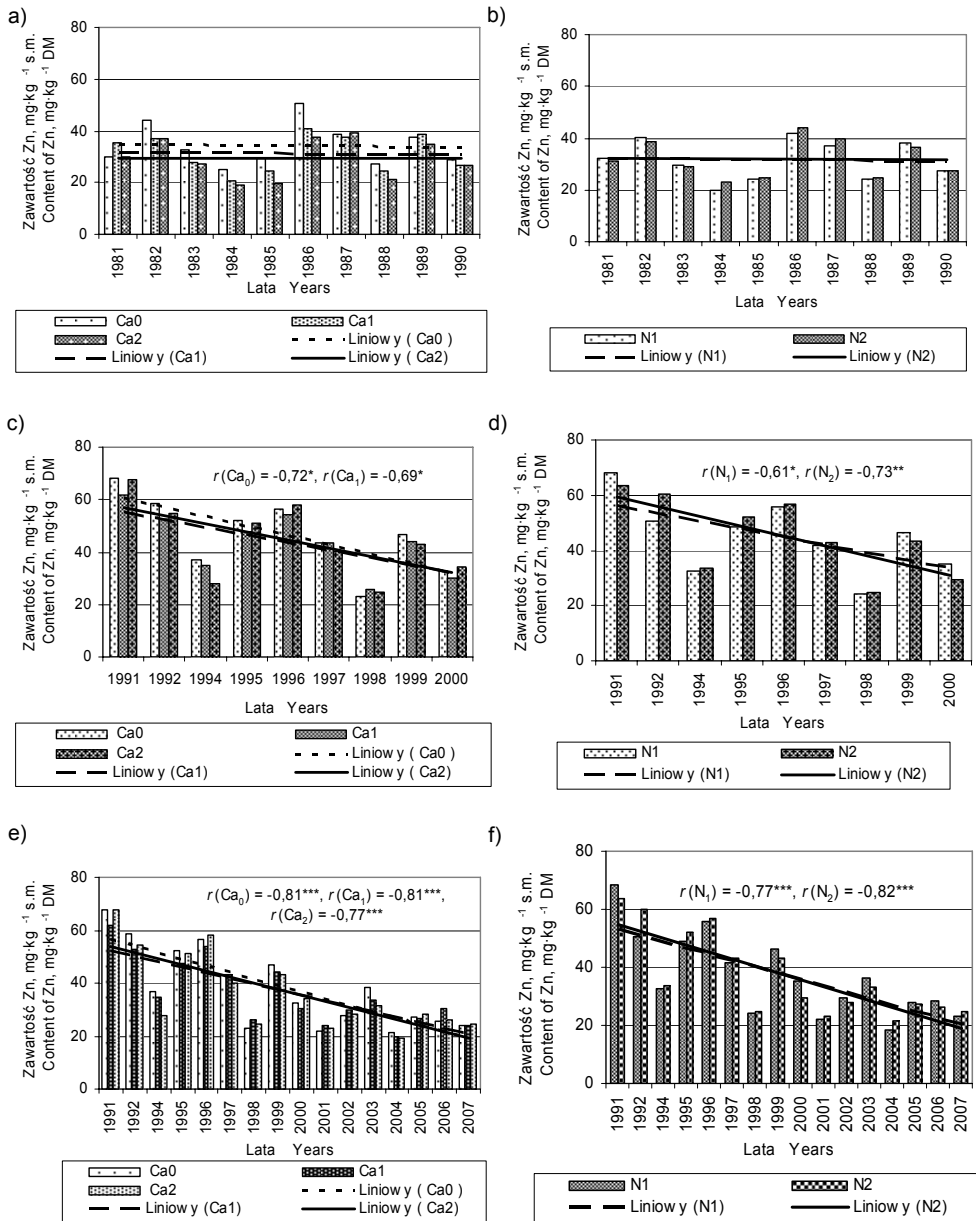
mikronawozu (doświadczenia J i L – rys. 1 i 2c, d, e, f). Zawartość Mn po nawożeniu tym mikroelementem, zwłaszcza w wydzielonym 10-letnim okresie (1991–2000), cechowała się znaczną zmiennością, co także wyraża współczynnik zmienności (W%) średniej zawartości Mn w tym okresie (tab. 3, rys. 1c, d). Linie trendu zmian zawartości Mn na doświadczeniu J w latach 1991–2000 oraz 1991–2007 wskazywały na jej zmniejszenie w miarę upływu lat od zastosowania mikronawozu. Zmiany te nie były istotne statystycznie. Natomiast w wydzielonych w tym okresie latach 2001–2007 zawartość Mn w roślinności z niewapnowanych obiektów ( $Ca_0$ ) istotnie się zwiększała (rys. 1f), co można wiązać z postępującym zakwaszeniem słabo zbuforowanej gleby tego doświadczenia (tab. 2). Zwrócenia uwagi wymaga istotne statystycznie zwiększanie się zawartości Mn w roślinności z obiektów wapnowanych w latach przed zastosowaniem mikronawozu (rys. 1a). Proces wtórnego zakwaszenia gleby (reacydyfikacji), postępujący w miarę upływu lat od jej wapnowania w 1981 r., powodował uruchamianie manganu w glebie i związane z tym zwiększone pobieranie Mn przez roślinność [SAPEK, 1993].

Dynamika zawartości Mn w roślinności doświadczenia L w wieloleciu wykazała znaczną stabilność w okresie poprzedzającym zastosowanie mikronawozu, zarówno na tle wapnowania, jak i nawożenia azotem (rys. 2a, b). Na tym doświadczeniu wyraźnie zaznacza się krótki (ok. 2–4 letni) okres działania mikronawozu, znacznie zwiększający zawartość Mn w roślinności, czego skutkiem było dalsze, istotne jej zmniejszenie wraz z upływem lat, zarówno na obiektach niewapnowanych, jak i wapnowanych oraz nawożonych obiema dawkami azotu (rys. 2c, d, e, f). Uwagę zwraca duża stabilność zawartości Mn w dalszych latach (1996–2003), co potwierdza dość krótki okres działania zastosowanej dawki mikronawozu. Na znaczne zwiększenie średniej zawartości Mn w roślinności w 10-letnim okresie po nawożeniu tym składnikiem wpływała głównie, w warunkach obu doświadczeń, duża jego zawartość w pierwszych 2–4 latach (tab. 3, rys. 1 i 2c, d).

## Cynk

W latach 1982–1990 średnia zawartość cynku w roślinności z wszystkich obiektów nawozowych doświadczenia L, nienawożonego tym składnikiem, wynosiła  $38,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 4). W następnych, wydzielonych latach badań (1991–2003) zawartość ta zmniejszyła się do  $25,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. Przedział zawartości Zn w roślinności łąkowej, prawidłowy ze względu na żywienie przeżuwaczy, wynosi 30–50  $\text{mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. [COPPENET, SIMON, 1984; FALKOWSKI i in., 2000; Normy..., 1993; SAPEK, 1979]. Przyjmując powyższe kryterium, zawartość Zn w roślinności była początkowo prawidłowa (największa na obiekcie  $Ca_0$  –  $42,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.), a w latach następnych występował jego niedobór w roślinności tego doświadczenia (tab. 4).

Na doświadczeniu J, które było nawożone tym składnikiem, średnia zawartość Zn w roślinności z wszystkich obiektów nawozowych w okresie przed zastosowa-



Rys. 3. Zawartość cynku (Zn) w roślinności I pokosu 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 (Ca<sub>0</sub>, Ca<sub>1</sub>, Ca<sub>2</sub>) i nawożenia azotem (N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>)

Fig. 3. Zinc content in the I cut of vegetation in Janki experiment – before (1981–1990; a, b) and after fertilisation with zinc (1991–2000; c, d; 1991–2007; e, f) in comparison with liming (Ca<sub>0</sub>, Ca<sub>1</sub>, Ca<sub>2</sub>) and nitrogen fertilisation (N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>)

**Tabela 4.** Średnia zawartość cynku (Zn) w roślinności łąkowej I pokosu z obiektów nawozowych doświadczonych przed i po zastosowaniu mikronawozu<sup>1)</sup> w Jankach (1981–1990, 1991–2007) i Laszczkach (1982–1990, 1991–2003)**Table 4.** Mean content of zinc in the first cut of vegetation from fertilisation objects of experiments before and after micro-fertiliser application<sup>1)</sup> in Janki (1981–1990, 1991–2007) and Laszczki (1982–1990, 1991–2003)

| Okres badawczy<br>Study period                                    | Lata<br>Years | Zawartość Zn w roślinności z obiektów nawozowych mg·kg <sup>-1</sup> s.m.<br>Content of Zn in herbage from fertilisation objects, mg·kg <sup>-1</sup> DM |    |                 |    |                 |    |                |    |                |    |                 |    |
|---|---------------|--|----|-----------------|----|-----------------|----|----------------|----|----------------|----|-----------------|----|
|   |               | Ca <sub>0</sub>  |    | Ca <sub>1</sub> |    | Ca <sub>2</sub> |    | N <sub>1</sub> |    | N <sub>2</sub> |    | średnio<br>mean |    |
|   |               | x  | W% | x               | W% | x               | W% | x              | W% | x              | W% | x               | W% |
|   |               | Janki  |    |                 |    |                 |    |                |    |                |    |                 |    |
| Przed nawożeniem Zn<br>Before fertilisation with Zn               | 1981–1990     | 34,4   | 24 | 31,4            | 23 | 29,3            | 25 | 31,5           | 24 | 31,9           | 23 | 31,7            | 23 |
|   | 1991–2000     | 46,4   | 30 | 43,9            | 27 | 44,6            | 32 | 44,8           | 29 | 45,1           | 31 | 44,9            | 30 |
| Po nawożeniu Zn<br>After fertilisation with Zn                    | 1991–2007     | 37,7   | 39 | 36,4            | 35 | 36,4            | 40 | 36,8           | 38 | 36,9           | 38 | 36,8            | 38 |
|   |               |  |    |                 |    |                 |    |                |    |                |    |                 |    |
| Doświadczenie nienawożone Zn<br>Experiment not fertilised with Zn | 1982–1990     | 42,5   | 15 | 38,7            | 17 | 35,4            | 25 | 38,1           | 19 | 39,7           | 18 | 38,9            | 19 |
|   | 1991–2000     | 29,3   | 19 | 28,0            | 18 | 25,1            | 19 | 26,9           | 19 | 28,0           | 18 | 27,4            | 19 |
|   | 1991–2003     | 28,0   | 35 | 25,8            | 37 | 23,3            | 38 | 25,3           | 36 | 26,1           | 36 | 25,7            | 15 |
|   |               |  |    |                 |    |                 |    |                |    |                |    |                 |    |

<sup>1)</sup> Jednorazowa dawka zastosowana jesienią 1990 r.: Zn – 30 kg·ha<sup>-1</sup>.

Objaśnienia, jak pod tabelą 2 i 3.

<sup>1)</sup> Single dose applied in autumn 1990: Zn – 30 kg·ha<sup>-1</sup>.

Explanations as in Tab. 2 and 3.

niem mikronawozu (1981–1990) była równa  $31,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. i pozostawała na granicy prawidłowej zawartości, również na obiektach wapnowanych (tab. 4). W 10-letnim okresie, po zastosowaniu mikronawozu, zawartość ta zwiększyła się do  $44,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. i to w podobnym zakresie zarówno na obiektach niewapnowanych, jak i wapnowanych ( $43,9$ – $46,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.). W dalszych latach obserwowano jej zmniejszenie do poziomu przed nawożeniem cynkiem, jednak była ona większa od wartości granicznej –  $30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. Większa dawka nawozu azotowego nie wpłynęła znacząco na zawartość Zn w roślinności obu doświadczeń (tab. 4).

Przebieg średnich rocznych zmian zawartości Zn w roślinności z doświadczenia J przed nawożeniem tym składnikiem (lata 1981–1990) wykazał znaczną jej stabilność w warunkach obiektów niewapnowanych i wapnowanych (rys. 3a, b). W pierwszych pięciu latach po zastosowaniu mikronawozu zawartość Zn najczęściej przekraczała wartość graniczną –  $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m., a później istotnie zmniejszała się, bez względu na stosowaną dawkę azotu, co potwierdziły ujemne, istotne współczynniki korelacji Pearsona (rys. 3c, d, e, f). W pierwszych 10 latach po zastosowaniu mikronawozu to zmniejszenie nie było istotne statystycznie w warunkach obiektu wapnowanego podwójną dawką wapna ( $\text{Ca}_2$ ) (rys. 3c). Od 2001 r. zawartość Zn utrzymywała się już na granicy niedoboru (rys. 3e, f).

W roślinności doświadczenia L, nienawożonego cynkiem, stwierdzono statystycznie istotne zmniejszenie jego zawartości wraz z upływem lat w całym okresie badawczym (rys. 4a, b). Zawartość Zn była prawidłowa w ciągu pierwszych 8–10 lat. Należy jednak zwrócić uwagę na obserwowaną znaczną jej zmienność i pojawiające się w ostatnich latach badań (1994–2003) niedobory Zn w roślinności, co potwierdzają również współczynniki zmienności obliczone dla średnich zawartości Zn z lat 1991–2003 (rys. 4b, tab. 4).

## Miedź

Roślinność doświadczenia J zawierała znacznie mniej miedzi w porównaniu z roślinnością z doświadczenia L. W badanym wieloleciu średnia zawartość Cu była na granicy niedoboru ( $5,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.) – prawidłowy przedział zaopatrzenia roślinności łąkowej w ten mikroelement wynosi  $5$ – $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. [COPPENET, SIMON, 1984; FALKOWSKI i in., 2000; Normy..., 1993; SAPEK, 1979]. Roślinność z doświadczenia L była dobrze zaopatrzona w ten składnik (średnio  $9,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.), nawet pochodząca z obiektów uprzednio wapnowanych (tab. 5). Po nawożeniu miedzią jej zawartość w roślinności obu doświadczeń zwiększyła się i mieściła w przedziale prawidłowego zaopatrzenia w ten mikroelement (na doświadczeniu J:  $7,5$ – $7,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m., na doświadczeniu L:  $10,1$ – $10,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.). W warunkach doświadczenia J, średnie zawartości Cu w wydzielonych przedziałach lat badań nie wskazywały na znaczący, następczy wpływ wapnowania gleby na tę zawartość. Natomiast na doświadczeniu L, w okresie przed zastosowaniem miedzi, uprzednie wapnowanie gleby spowodowało zmniejszenie jej zawartości w roślinności,

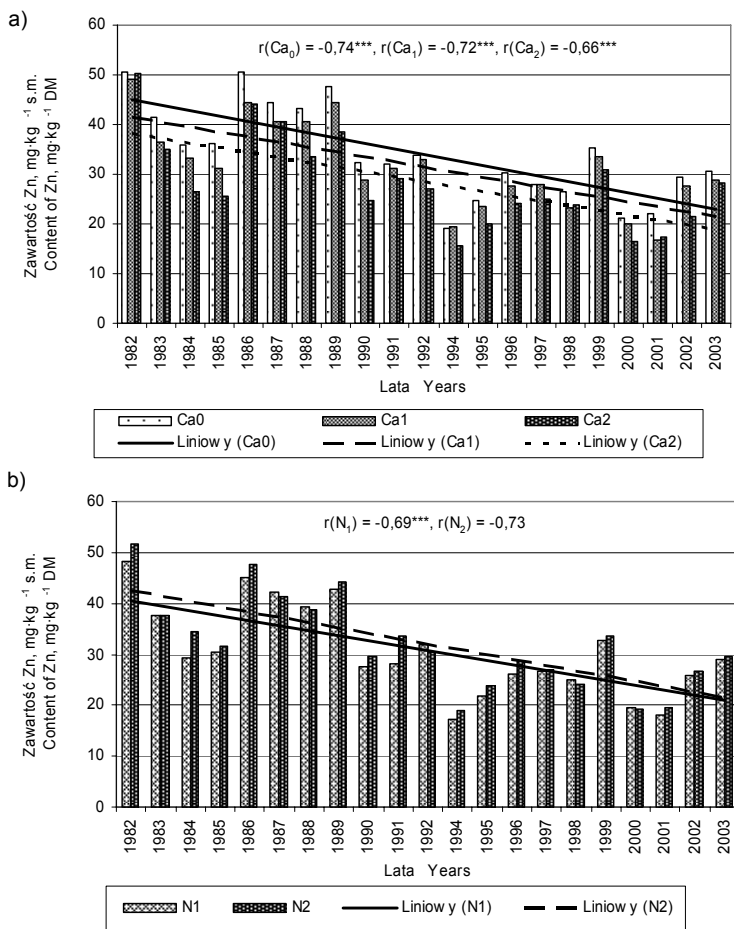
**Tabela 5.** Średnia zawartość miedzi (Cu) w roślinności łąkowej I pokosu z obiektów nawozowych doświadczonych przed i po zastosowaniu mikronawozu<sup>1)</sup> w Jankach (1981–1990, 1991–2007) i Laszczkach (1982–1990, 1991–2003)**Table 5.** Mean content of copper in the first cut of vegetation from fertilisation objects of experiments before and after micro-fertiliser application<sup>1)</sup> in Janki (1981–1990, 1991–2007) and Laszczki (1982–1990, 1991–2003)

| Okres badawczy<br>Study period                      | Lata<br>Years | Zawartość Cu w roślinności z obiektów nawozowych, mg·kg <sup>-1</sup> s.m.<br>Content of Cu in herbage from fertilisation objects, mg·kg <sup>-1</sup> DM |    |                 |    |                 |    |                |    |                |    |                 |    |
|---|---------------|---|----|-----------------|----|-----------------|----|----------------|----|----------------|----|-----------------|----|
|   |               | Ca <sub>0</sub>   |    | Ca <sub>1</sub> |    | Ca <sub>2</sub> |    | N <sub>1</sub> |    | N <sub>2</sub> |    | średnio<br>mean |    |
|   |               | x   | W% | x               | W% | x               | W% | x              | W% | x              | W% | x               | W% |
| Przed nawożeniem Cu<br>Before fertilisation with Cu | 1981–1990     | <b>5,3</b>  | 21 | <b>5,4</b>      | 20 | <b>5,0</b>      | 22 | <b>5,6</b>     | 20 | <b>4,9</b>     | 20 | <b>5,2</b>      | 19 |
|   | 1991–2000     | <b>7,9</b>  | 18 | <b>7,7</b>      | 21 | <b>7,5</b>      | 20 | <b>7,5</b>     | 19 | <b>7,9</b>     | 20 | <b>7,7</b>      | 19 |
|   | 1991–2007     | <b>6,7</b>  | 31 | <b>6,7</b>      | 28 | <b>6,6</b>      | 27 | <b>6,4</b>     | 30 | <b>6,9</b>     | 27 | <b>6,6</b>      | 29 |
| Przed nawożeniem Cu<br>Before fertilisation with Cu | 1982–1990     | <b>9,7</b>  | 19 | <b>8,9</b>      | 13 | <b>8,5</b>      | 14 | <b>8,6</b>     | 12 | <b>9,5</b>     | 13 | <b>9,0</b>      | 12 |
|   | 1991–2000     | <b>10,5</b>   | 12 | <b>10,1</b>     | 17 | <b>10,2</b>     | 13 | <b>9,4</b>     | 13 | <b>11,0</b>    | 14 | <b>10,2</b>     | 13 |
|   | 1991–2003     | <b>7,7</b>  | 54 | <b>7,2</b>      | 51 | <b>7,3</b>      | 55 | <b>6,9</b>     | 56 | <b>7,9</b>     | 52 | <b>7,4</b>      | 54 |

<sup>1)</sup> Jednorazowa dawka zastosowana jesienią 1990 r.: Cu – 10 kg·ha<sup>-1</sup>.

Objaśnienia, jak pod tabelą 2 i 3.

<sup>1)</sup> Single dose applied in autumn 1990: Cu – 10 kg·ha<sup>-1</sup>.  
Explanations as in Tab. 2 and 3.

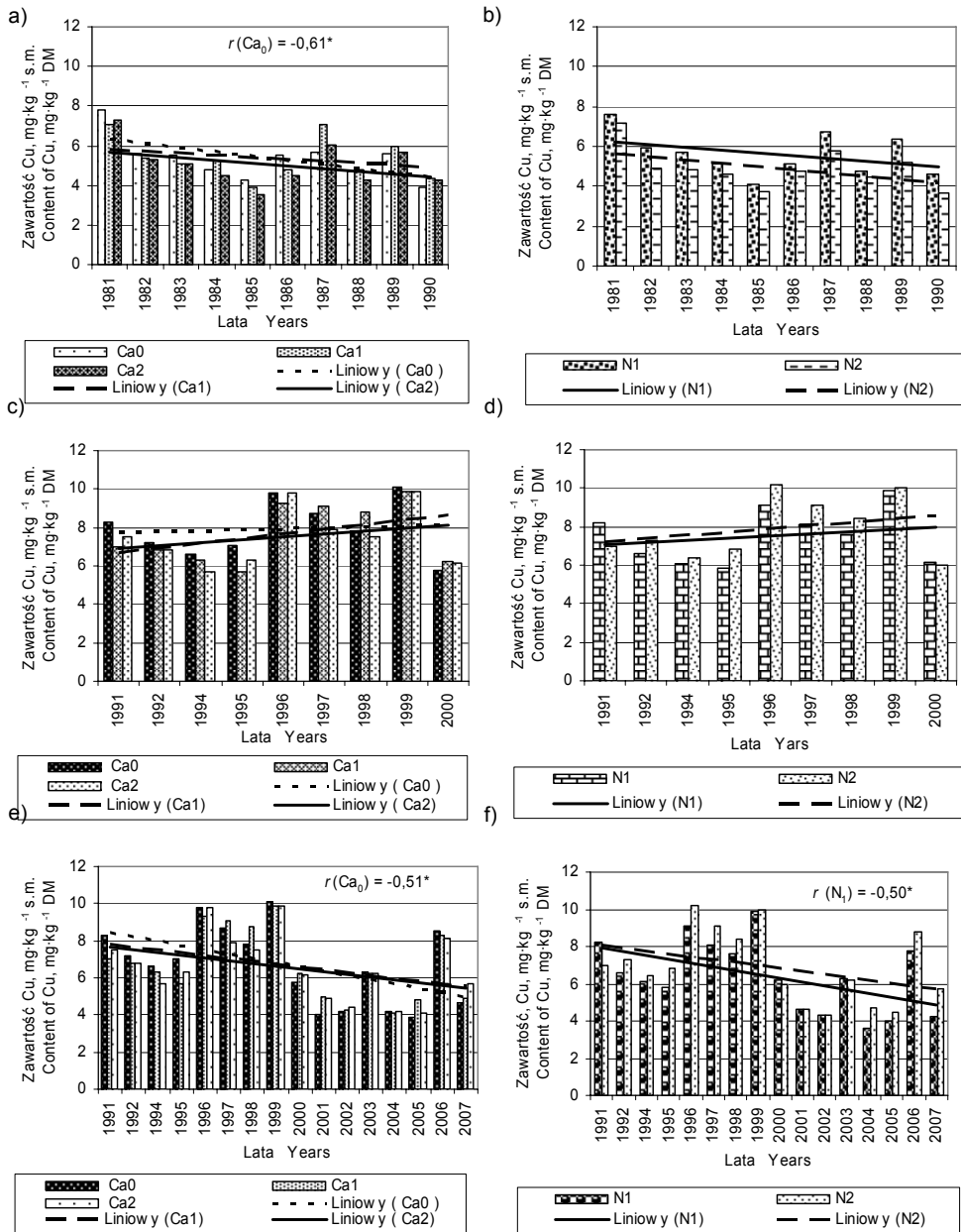


Rys. 4. Zawartość cynku (Zn) w roślinności I pokosu na nienawożonym cynkiem doświadczeniu w Laszczkach (1982–2003; a, b) na tle wpływu wapnowania ( $\text{Ca}_0$ ,  $\text{Ca}_1$ ,  $\text{Ca}_2$ ) i nawożenia azotem ( $\text{N}_1$ ,  $\text{N}_2$ )

Fig. 4. Zinc content in the I cut of vegetation in Laszczki experiment not fertilised with zinc (1982–2003; a, b) in comparison with liming ( $\text{Ca}_0$ ,  $\text{Ca}_1$ ,  $\text{Ca}_2$ ) and nitrogen fertilisation ( $\text{N}_1$ ,  $\text{N}_2$ )

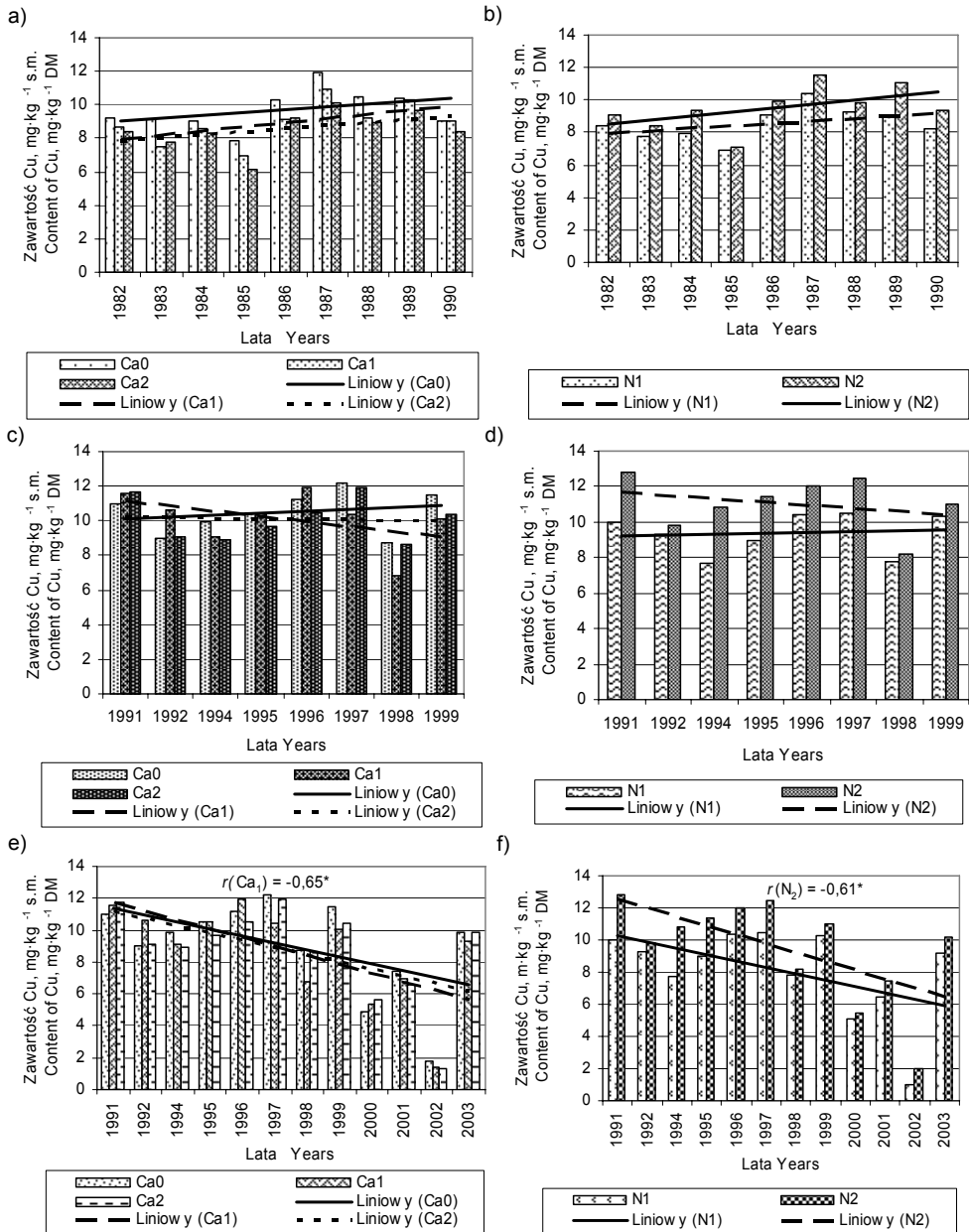
a większa dawka nawozu azotowego sprzyjała lepszemu zaopatrzeniu roślinności w miedź (tab. 5).

Obserwowane zmiany średniej rocznej zawartości Cu w roślinności doświadczenia J w 10-letnim okresie poprzedzającym nawożenie miedzią wykazały zmniejszenie jej zawartości wraz z upływem lat, co zostało statystycznie udowodnione w warunkach niewapnowanych obiektów ( $\text{Ca}_0$ ) (rys. 5a, b). Nawożenie doświadczenia J miedzią spowodowało w latach 1991–2000 nieudowodnioną statystycznie tendencję w kierunku zwiększania się zawartości Cu w roślinności z wszystkich badanych obiektów nawozowych (rys. 5c, d). Jednak, rozpatrując cały



Rys. 5. Zawartość miedzi (Cu) w roślinności I pokosu na doświadczeniu w Jankach – przed (1981–1990; a, b) i po nawożeniu miedzią (1991–2000; c, d; 1991–2007; e, f) 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>)

Fig. 5. Copper content in the I cut of vegetation in Janki experiment – before (1981–1990; a, b) and after fertilisation with copper (1991–2000; c, d; 1991–2007; e, f) in comparison with liming (Ca<sub>0</sub>, Ca<sub>1</sub>, Ca<sub>2</sub>) and nitrogen fertilisation (N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>)



Rys. 6. Zawartość miedzi (Cu) w roślinności I pokosu 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 (Ca<sub>0</sub>, Ca<sub>1</sub>, Ca<sub>2</sub>) i nawożenia azotem (N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>)

Fig. 6. Copper content in the I cut of vegetation in Laszczki experiment – before (1982–1990; a, b) and after fertilisation with copper (1991–1999; c, d; 1991–2003; e, f) in comparison with liming (Ca<sub>0</sub>, Ca<sub>1</sub>, Ca<sub>2</sub>) and nitrogen fertilisation (N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>)



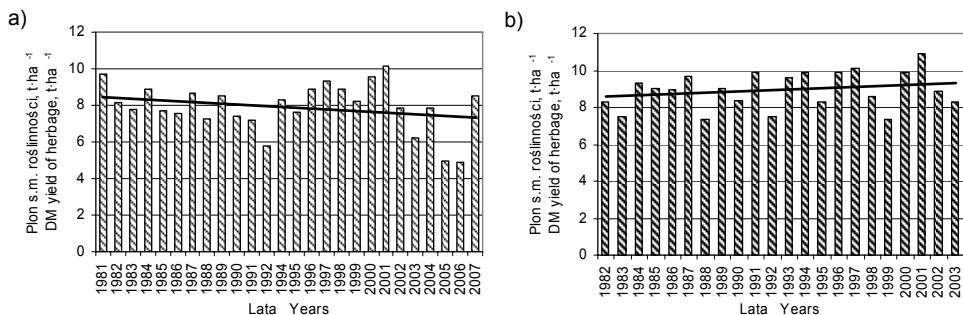
okres badań po zastosowaniu mikronawozu (1991–2007), wykazano istotne statystycznie zmniejszenie zawartości Cu wraz z upływem czasu w warunkach obiektów uprzednio niewapnowanych (rys. 5a, e). Z przebiegu zmian zawartości Cu można sądzić, iż taki ich kierunek kształtuje głównie, zaznaczająca się wyraźnie od 2000 r., mniejsza zawartość miedzi, co może świadczyć o dłuższym działaniu mikronawozu w zastosowanej dawce.

Przebieg zmian zawartości Cu na doświadczeniu L różnił się od doświadczenia J. W okresie poprzedzającym nawożenie miedzią, linie trendu wskazywały tendencję w kierunku zwiększania się zawartości Cu w roślinności wraz z upływem lat (rys. 6a, b). Prawdopodobnie było to spowodowane większą intensywnością mineralizacji materii organicznej w warunkach tego doświadczenia i związanego z tym uwalniania rozpuszczalnych, organicznych form miedzi. Po zastosowaniu mikronawozu zwiększona zawartość Cu w roślinności, zwłaszcza nawożonej większą dawką azotu ( $N_2$ ), utrzymywała się w ciągu ok. 6 lat (rys. 6d). Rozpatrując cały okres po zastosowaniu mikronawozu, zawartość Cu w roślinności ulegała zmniejszeniu wraz z upływem lat, co jest statystycznie istotne na obiektach wapnowanych  $Ca_1$  oraz nawożonych dawką azotu  $N_2$  (rys. 6e, f). Na ten kierunek zmian zawartości Cu wpłynęło głównie, obserwowane od 2000 r., znaczne zmniejszenie zawartości Cu w roślinności, co również jest przyczyną dużej wartości współczynnika zmienności (W%) obliczonego dla średniej zawartości Cu w latach 1991–2003 (rys. 6e, f, tab. 5).

### WSPÓLZALEŻNOŚĆ ZAWARTOŚCI MIKROELEMENTÓW W ROŚLINNOŚCI I WIELKOŚCI PŁONÓW

Omówienie wpływu zawartości badanych mikroelementów na plony roślinności łąkowej wymaga informacji o wielkości i przebiegu jej plonowania na dwóch doświadczeniach w badanym wieloleciu. Zagadnienie to szerzej przedstawiono w części II opracowania. Porównując cały okres badawczy na dwóch doświadczeniach (Janki: 1981–2007, Laszczki: 1982–2003), linie trendu wskazują, wprawdzie nieudowodnione statystycznie, zmniejszenie plonów na doświadczeniu J i ich zwiększenie na doświadczeniu L wraz z upływem lat. Z przebiegu zmian wynika jednak zróżnicowanie plonowania w wydzielonych okresach – przed i po zastosowaniu mikronawozów, zwłaszcza na doświadczeniu J (rys. 7a, b).

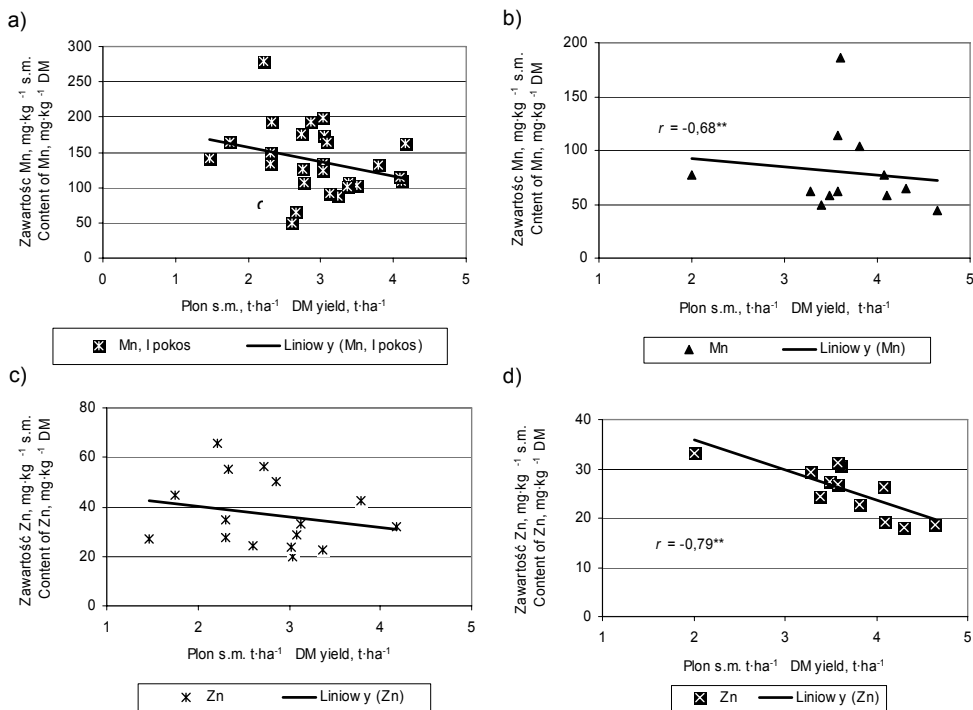
Aby sprawdzić, czy nawożenie **manganem** sprzyjało zaznaczającemu się od 1991 r. na doświadczeniu J zwiększaniu się plonów, badano współzależność między jego zawartością w roślinności I pokosu i wielkością plonu suchej masy, a także roczną sumą plonów (z trzech pokosów). W żadnym z przypadków nie wykazano dodatniej współzależności między badanymi wielkościami. Na obu doświadczeniach linie trendu wskazywały na zmniejszanie się zawartości Mn wraz ze wzrostem plonu suchej masy (istotne statystycznie na doświadczeniu L dla plonu



Rys. 7. Roczny plon suchej masy roślinności trzech pokosów z doświadczeń: a) w Jankach (1981–2007) i b) w Laszczkach (1982–2003)

Fig. 7. Annual yield of plant dry matter from three cuts in experiments: a) in Janki (1981–2007) and b) in Laszczki (1982–2003)

I pokosu), co sugerowałoby tzw. efekt „rozcieńczenia” zawartości składnika w zwiększonym plonie roślinności (rys. 8a, b).



Rys. 8. Współzależność zawartości mikroelementów w roślinności i plonu suchej masy po zastosowaniu mikronawozu; doświadczenie Janki (1981–2007): Mn (a), Zn (c), Cu (e); doświadczenie Laszczki nienawożone cynkiem (1982–2003): Mn (b), Zn (d), Cu (f); doświadczenie Janki: współzależność zawartości Cu i rocznego plonu roślinności (I–III pokosy) przed nawożeniem miedzią (g)

Na brak dodatniego wpływu zwiększonej zawartości **cynku** na wielkość plonów wskazuje istotna, ujemna współzależność między zawartością Zn w roślinności i wielkością plonu suchej masy, zarówno I pokosu, jak i rocznego plonu (trzy pokosy,  $r = -0,61^*$ ) stwierdzona na nienawożonym tym składnikiem doświadczeniu L. Świadczyłoby to również o wystąpieniu tzw. efektu „rozcieńczenia” (rys. 8d). W tym okresie (lata 1991–2007) na nawożonym cynkiem doświadczeniu J, kierunek linii trendu wskazywał na podobną, statystycznie nieudowodnioną, tendencję (rys. 8c).

Analiza współzależności między zawartością **miedzi** w roślinności i wielkością plonu z obu doświadczeń w okresie po nawożeniu gleby tym składnikiem wykazała również tendencję do „rozcieńczenia” zawartości Cu, zwłaszcza w plonie roślinności I pokosu (rys. 8e, f). Istotny wzrost plonu rocznego wraz ze zwiększeniem zawartości Cu w roślinności wykazany tylko na doświadczeniu J w okresie przed zastosowaniem mikronawozu (1981–1990), może wskazywać na miedź jako czynnik limitujący wielkość plonu w warunkach częściowego niedoboru tego składnika w roślinności (rys. 8g).

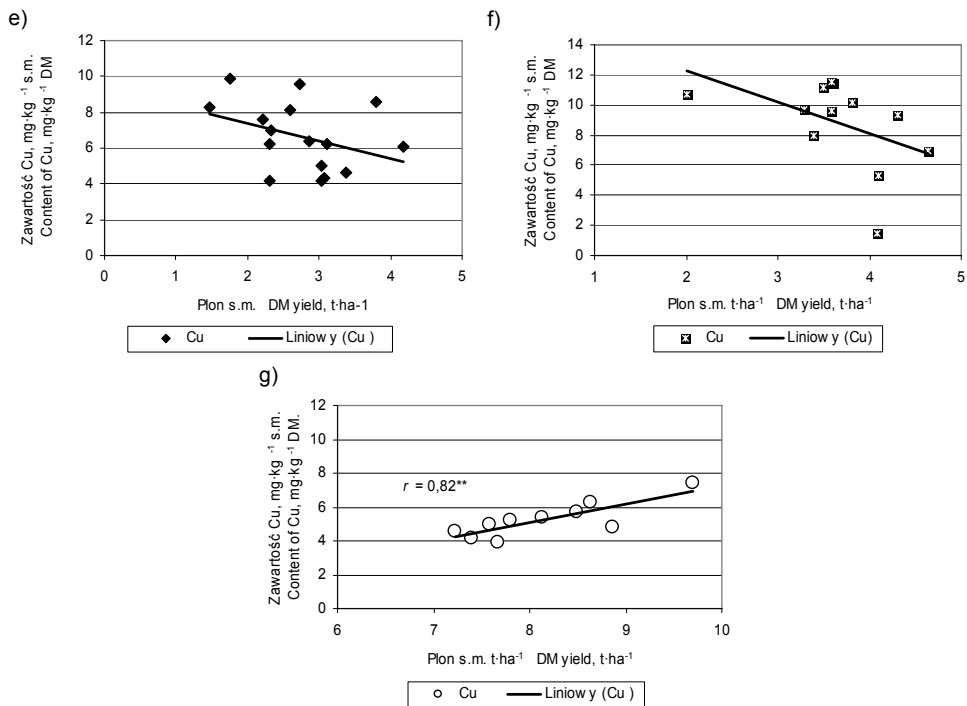


Fig. 8. Correlation between the content of microelements in plants and dry matter yield after application of micro-fertiliser; experiment Janki (1981–2007): Mn (a), Zn (c), Cu (e); experiment Laszczki (not fertilised with zinc) (1982–2003): Mn (b), Zn (d), Cu (f); experiment in Janki: correlation between Cu content and annual plant yield (I–III cuts) before fertilisation with copper (g)

## DYSKUSJA

Uśrednianie wyników badań, bez rozważenia ich zmienności w dłuższym okresie obserwacji, może nie oddawać pełnego obrazu badanego zjawiska. Jak wykazano w pracy, większa średnia zawartość badanych mikroelementów w roślinności z długoletniego okresu po nawożeniu tymi składnikami była wynikiem znacznego zwiększenia tej zawartości tylko w pierwszych kilku latach. Odmienne zachowanie omawianych mikroelementów w środowisku glebowym dwóch doświadczeń oraz dostępność dla roślin, od której zależy ich zawartość w roślinności, wynikała z różnic we właściwościach chemicznych tych pierwiastków [GORLACH, MAZUR, 2002; RUSZKOWSKA, 1976]. Mangan jest pierwiastkiem szczególnie reagującym na zmiany odczynu gleby, z czym związane jest jego pobieranie przez rośliny, co wykazano również w warunkach prezentowanych doświadczeń w odrębnej pracy [SAPEK, 2009]. BLAKE i GOULDING [2002] oraz LASER [2007] w swych badaniach zwrócili uwagę na różnice we wpływie zmian odczynu gleby na zawartość mikrośkładników, w tym Mn i Zn, w roślinności łąkowej. LASER [2007], a także MALHI i in. [1998] wykazali, między innymi, istotny, zmniejszający zawartość Mn wpływ zwiększenia pH w wyniku wapnowania tylko w warunkach bardzo kwaśnej gleby. Cynk jest znacznie bardziej rozproszony w środowisku, lecz jest mniej czuły na kwaśny odczyn gleby, a zwłaszcza na jego zmiany. Jednak wpływ odczynu na zawartość Zn, a także częściowo Mn w roślinności, ujawnia się głównie w warunkach małej zasobności gleby w te mikroelementy [LASER, 2007; SAPEK, 1986; 2009]. MALHI i in. [1998] stwierdzili, że zawartość Zn w sianie łąkowym po wapnowaniu nie zmniejszała się, natomiast po nawożeniu azotem zwiększała się zawartość obu mikropierwiastków. Swoistość Mn i znaczna zmienność jego zawartości, a także pobrania z plonem roślinności w porównaniu z Zn i Cu, wynika z możliwości występowania jonów tego metalu w różnym stopniu utlenienia (w glebie głównie  $Mn^{2+}$ ,  $Mn^{3+}$ ,  $Mn^{4+}$ ), o czym decydują warunki oksydacyjno-redukcyjne zależne, między innymi, od uwilgotnienia, odczynu oraz zawartości materii organicznej. Wykazana w niniejszej pracy znacznie większa w badanym wieloleciu zmienność zawartości Mn w roślinności łąkowej, w porównaniu z Zn oraz z Cu, wynikała z silnej podatności tego pierwiastka na zmiany warunków redoks i obecności w glebie jego form w różnym stopniu utlenienia, zwłaszcza po wzbogaceniu nim gleby o słabej zdolności buforowej na doświadczeniu J. Wprowadzenie bowiem do układu gleba – roślina „redoks aktywnych” pierwiastków, jakimi są Mn i Cu, powoduje naruszenie w nim równowagi oksydacyjno-redukcyjnej, a w konsekwencji większą zmienność zawartości składników w roślinności [DUČIĆ, POLLE, 2005]. Miedź, silnie wiązana przez materię organiczną gleby, cechuje się znacznie mniejszą ruchliwością w porównaniu z manganem i cynkiem, zwłaszcza w glebie zasobnej w  $C_{org}$ . Rośliny pobierają Cu z roztworu glebowego w formie jonowej, jest ona także dostępna w postaci rozpuszczalnych połączeń organicznych – chelatów [GORLACH, MAZUR, 2002; KABATA-PENDIAS, PENDIAS, 1979]. Swoistość Cu,

zwłaszcza obserwowane w niniejszych badaniach dłuższe, w porównaniu z pozostałymi mikroelementami, działanie zastosowanej dawki miedzi, wynikało z jej silnego powinowactwa do materii organicznej gleby i związanego z tym uwalniania dostępnych dla roślin jej związków organicznych [BLAKE, GOULDING, 2002]. Skutkiem tego, a także właściwości gleby, było dobre zaopatrzenie w miedź roślinności doświadczenia L.

Wykazany w pracy wpływ jednorazowego nawożenia gleby doświadczeń mikroelementami na ich zawartość w roślinności w wieloletnim był z pewnością, poza właściwościami gleby, uwarunkowany zastosowaną dawką mikronawozu. Na wpływ ten wskazują, między innymi, wyniki badań KUCZYŃSKIEJ [1992] oraz FORBESA i GELMANA [2006]. Zawartość mikroelementów w roślinności zależy również od udziału poszczególnych gatunków w runi łąkowej, wykazujących znaczne jej zróżnicowanie [WALCZYNA i in., 1975]. W warunkach omawianych doświadczeń, przeważający udział w runi miały trawy, a wśród nich dominującym gatunkiem była kupkówka pospolita (*Dactylis glomerata* L.) [SAPEK, 2006]. Ten gatunek charakteryzuje się dużą zdolnością przyswajania manganu, cynku i miedzi [SAPEK, 1986; WALCZYNA i in., 1975].

Plonotwórczy wpływ nawożenia mikroelementami roślinności łąkowej nie jest powszechnie obserwowany. W doświadczeniach łąkowych wykonywanych w latach 70. stwierdzono pewien stymulujący wpływ miedzi na wielkość plonów [WALCZYNA, OKRUSZKO, 1972]. KUCZYŃSKA [1992] wykazała taki wpływ miedzi, lecz dopiero przy zastosowanych dawkach wynoszących 15 i 20 kg Cu·ha<sup>-1</sup>, natomiast nie stwierdzono takiego wpływu w przypadku nawożenia manganem i cynkiem. Brak wpływu zwiększenia zawartości mikroelementów, między innymi manganu, cynku i miedzi, w roślinności łąkowej na jej wzrost stwierdzili również GOVASMAR i in. [2005a, b]. Także w niniejszej pracy wykazano brak dodatniego wpływu zwiększenia zawartości badanych mikroelementów w roślinności łąkowej na wielkość plonów. Jedynie w warunkach niedoboru tego składnika w roślinności, przed zastosowaniem mikronawozu, wykazano wzrost plonu wraz ze zwiększeniem zawartości miedzi, co wskazywałoby, że jest ona czynnikiem limitującym wielkość plonu.

Odrębnym zagadnieniem, poza doglebowym stosowaniem mikronawozów, jest skuteczność i wpływ dolistnego dokarmiania roślinności łąkowej mikroelementami na ich zawartość w runi oraz na plon, w przypadku którego stosuje się znacznie mniejsze dawki mikronawozów [JANKOWSKA-HUFLEJT, 2009; KOPEĆ, GONDEK, 2004]. KOPEĆ i GONDEK [2004] stwierdzili wzrost plonów w wyniku dolistnego nawożenia Mn, Zn i Cu, czego skutkiem była jednak mniejsza ich zawartość w roślinności, co autorzy tłumaczą efektem „rozcieńczenia” w większym plonie. W takim przypadku to plonotwórcze działanie wydaje się dyskusyjne. Obecnie nawożenie dolistne mikroelementami, jako sposób zachowania pożądanej ich zawartości w roślinności łąkowej ze względu na jakość paszy, jest interesujące z uwagi na

problem zanieczyszczenia gleb metalami. Zagadnienie to jest szerzej omawiane w części II pracy.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Dokonana analiza wyników badań zawartości trzech mikroelementów – manganu (Mn), cynku (Zn) i miedzi (Cu) – oraz ich zmian w ponad 20-letnim okresie badań na przykładzie dwóch doświadczeń łąkowych potwierdza postawioną na wstępie pracy tezę, iż przebieg badanych zjawisk może zmieniać się w zależności od czasu trwania badań i obserwacji. Wynika z niej również to, że długoletnie doświadczenia łąkowe są niezbędne do oceny rzeczywistego stanu i przebiegu zmian zawartości badanych mikroelementów w roślinności łąkowej zarówno nienawożonej, jak i nawożonej tymi składnikami oraz ich wpływu na wielkość plonów. Biorąc pod uwagę niezbędność mikroelementów do prawidłowego wzrostu i rozwoju roślinności łąkowej oraz dobrą jakość paszy łąkowej dla przeżuwaczy, a także ochronę gleby przed zanieczyszczeniem metalami można przedstawić następujące wnioski.

1. Zawartość manganu, cynku i miedzi w roślinności łąkowej, w warunkach gleby nienawożonej tymi mikroelementami, wykazywała w ciągu wielolecia względnie małą zmienność, zwłaszcza w przypadku gleby zasobniejszej w materię organiczną i o korzystniejszym uwilgotnieniu.

2. Jednorazowe nawożenie gleby manganem, cynkiem oraz miedzią skutkowało zwiększeniem ich zawartości w roślinności łąkowej, a w wieloleciu ta zawartość wykazywała znaczną zmienność, zwłaszcza w odniesieniu do manganu.

3. Średnia z wielolecia zawartość mikroelementów, po zastosowaniu mikronawozów, wynikała głównie z jej zwiększenia w pierwszych kilku latach, co wykazał przebieg rocznych zmian tej zawartości w ocenianym wieloleciu.

4. Plonotwórczego działania mikronawozów na glebach łąkowych można się spodziewać w warunkach znacznego niedoboru danego mikroelementu w roślinności, który w takim przypadku jest w glebie czynnikiem minimum, warunkującym plonowanie.

5. Zawartość manganu, cynku i miedzi w roślinności była zazwyczaj większa (zwłaszcza manganu) w warunkach kwaśnego odczynu gleby, a wapnowanie gleby powodowało jej zmniejszenie. Wpływ ten zależał od właściwości chemicznych pierwiastka oraz właściwości gleby, zwłaszcza zasobności w materię organiczną, której obecność może sprzyjać zwiększeniu jego dostępności dla roślin.

6. Zwiększenie dawki azotu w postaci saletry amonowej, które sprzyjało większej zawartości manganu oraz miedzi w roślinności, mogło być skutkiem wpływu czynnika zwiększającego kwasowość gleby, jakim jest ta postać nawozu azotowego.

7. Zachowanie prawidłowej ze względu na żywienie przeżuwaczy zawartości omawianych mikroelementów w roślinności łąkowej wymagałoby, w zależności od

właściwości gleby oraz pierwiastka, stosowania mikronawozów co ok. 2–6 lat, co może stwarzać ryzyko znacznego wzbogacenia, a nawet zanieczyszczenia gleby tymi metalami.

## LITERATURA

- BARSZCZEWSKI J., SAPEK B., KALIŃSKA D., 2000. Dynamika zawartości Mn, Zn i Cu w roślinności z długoletnich doświadczeń łąkowych po ich nawożeniu tymi składnikami. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* z. 471 s. 647–653.
- BLAKE L., GOULDING K.W.T, 2002. Effects of atmospheric deposition, soil pH and acidification on heavy metal contents in soils and vegetation of semi-natural ecosystems at Rothamsted Experimental Station, UK. *Plant and Soil* vol. 240 s. 235–251.
- BOUWMAN A. F., VAN VUUREN D.P., DERWENT R.G., PODGH M., 2002. A global analysis of acidification and eutrophication of terrestrial ecosystems. *Water Air & Soil Pollution* 141 s. 349–382.
- CHAMBERS B.J., GARWOOD T.W.D., 1998. Lime loss rates from arable and grassland soils. *The Journal of Agriculture Sciences* 131 s. 455–464.
- COPPENET M., SIMON J.C., 1984. Sur les teneur en élément minéraux des graminées fouragères. Possibilités d'amélioration génétique. *Fourrage* 97 s. 17–33.
- 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.
- DUČIĆ T., POLLE A., 2005. Transport and detoxification of manganese and copper in plants. *Braz. J. Plant Physiol.* 17(1) s. 103–112.
- FALKOWSKI M., KUKULKA I., KOZŁOWSKI S., 2000. Właściwości chemiczne roślin łąkowych. Poznań: Wydaw. AR ss. 132.
- FORBES C.J., GELMAN A.L., 2006. Copper and other minerals in herbage species and varieties on copper deficient soils. *Grass and Forage Science* vol. 36 1 s. 25–30.
- GONDEK K., KOPEĆ M., 2008. Studies on the contents and amounts of microelements taken up by meadow sward in conditions of long-term and diversified mineral fertilization as to the sward folder value. *Polish Journal of Natural Science* vol. 23 1 s. 1–15.
- GORLACH E., MAZUR T., 2002. Gleba i jej rola w odżywianiu roślin i nawożeniu. Rozdz. 3. W: *Chemia rolna*. Pr. zbior. Red. E. Górlach, T. Mazur. Warszawa: Wydaw. Nauk. PWN s. 72–127.
- GOVASMAR E., STEEN A., BAKKEN A.K., STRØM T., HANSEN S., 2005a. Factors affecting the concentration of Zn, Fe and Mn in herbage from organic farms and in relation to dietary requirements of ruminants. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Plant Soil Science* vol. 55 2 s. 131–142.
- GOVASMAR E., STEEN A., BAKKEN A.K., STRØM T., HANSEN S., BERNHOFT A., 2005b. Copper, molybdenum and cobalt in herbage and ruminant from organic farms in Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science* vol. 55 1 s. 21–30.
- HEJCMAN M., KLAUDISOVA M., ŠTURSA J., PAVLŮ V., SCHELIBERG J., HEJCMANOVÁ P., HAKI J., RAUCH O., VACEK S., 2007. Revisiting a 37 years abandoned fertilizer experiment on *Nardus* grassland in the Czech Republic. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118 z. 1–4 s. 231–236.
- JANKOWSKA-HUFLEJT H., 2009. Ocena wpływu nawożenia i dokarmiania dolistnego na wartość paszową runi łąkowej w świetle doświadczeń łąkowych. Prezentacja na IV Konf. Nauk. pt. Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie, Falenty 25–26.11. 2009.

- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H., 1979. Pierwiastki śladowe w środowisku biologicznym. Warszawa: Wydaw. Geolog. ss. 300.
- KOPEĆ M., GONDEK K., 2004. Microelements 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. Bydgoszcz-Falenty: IMUZ, rozpr. habil. ss. 93.
- LASER H., 2007. Effect of liming and nitrogen application on the trace element concentration of pastures in low mountain range. *Plant Soil Environ.* 53(6) s. 258–266.
- MALHI S.S., NYBORG M., HARAPIAK J.T., 1998. Effect of long-term N fertilizer-induced acidification and liming on micronutrients in soil and in bromegrass hay. *Soil and Tillage Research* vol. 48 1–2 s. 91–101.
- Normy żywienia bydła i owiec systemem tradycyjnym, 1993. Pr. zbior. Red. R. Ryś. Kraków: IZ ss. 218.
- RUSZKOWSKA M., 1976. Mikroelementy. W: Fizjologia mineralnego żywienia roślin. Pr. zbior. Red. A. Nowotny-Mieczyńska. Warszawa: PWRiL s. 361–448.
- SAPEK A., 1979. Metody analizy chemicznej roślinności łąkowej, gleby i wody. Cz. 1. Falenty: IMUZ ss. 55.
- SAPEK B., 1986. The effect of liming on the Mn, Zn and Cu content in grassland fodder as an aspect of nitrogen fertilization. *Spur en element symposium*. Leipzig: KMU, Jena: FSU s. 929–936.
- 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* t. 6 z. specj. (17) s. 5–13.
- SAPEK B., 2009. Zawartość manganu i cynku w roślinności użytku zielonego na tle zmian kwasowości środowiska w wieloletciu. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* nr 40 s. 224–235.
- 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.
- WALCZYNA J., SAPEK A., KUCZYŃSKA I., SMYJEWSKI K., SAPEK B., 1975. Zawartość składników mineralnych w ważniejszych gatunkach traw i innych roślinach łąkowych z gleb torfowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* z. 175 s. 49–63.

*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 I. CHANGES IN MANGANESE, ZINC AND COPPER CONTENT AND THEIR EFFECT ON YIELD**

*Key words: content, fertilisation, herbage, long-term experiment, microelements, micro-fertilisers*

**S u m m a r y**

The content of Mn, Zn and Cu and their changes in vegetation before and after a single application of micro-fertilisers were estimated. The assessment was based on average values from many years and in the light of annual changes of this content during 20 years-long study. The problem was considered in view of meadow fodder quality and the effect of microelement contents on yields and



confronted with the secondary effect of liming and every-year nitrogen fertilisation. It was shown that single soil fertilisation with Mn, Zn and Cu resulted in their increased content in vegetation and marked year-to-year variability, especially of Mn content. Long-term mean content of microelements after application of micro-fertiliser resulted mainly from their increase during the first several years. Maintenance of proper (for feeding ruminants) content of the discussed microelements would require application of micro-fertilisers every 2 to 6 years, depending on soil properties. In such a case one should take into account considerable enrichment or even pollution of soils with these metals. Positive effect of grassland fertilisation with microelements on crop yielding may be expected only in the case of considerable deficiency of particular microelement in vegetation. It was shown, that the estimation of the dynamics of natural phenomena depends on the time of observations and that long-term empirical study would better show their real picture.

---

Recenzenci:

*prof. dr hab. Kazimierz Mazur*

*prof. dr hab. Zofia Spiak*

Praca wpłynęła do Redakcji 08.02.2010 r.